



## **NKS/SOS-1 Seminar on Safety analysis. Report from a seminar held on 22-23 March 2000 Risø National Laboratory, Roskilde, DK**

**Lauridsen, K.; Andersson, K.; Pulkkinen, U.**

*Publication date:*  
2001

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Lauridsen, K., Andersson, K., & Pulkkinen, U. (Eds.) (2001). *NKS/SOS-1 Seminar on Safety analysis. Report from a seminar held on 22-23 March 2000 Risø National Laboratory, Roskilde, DK*. Nordisk Kernesikkerhedsforskning. NKS No. 34

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Nordisk kernesikkerhedsforskning  
Norrænar kjarnöryggisrannsóknir  
Pohjoismainen ydinturvallisuustutkimus  
Nordisk kjernesikkerhetsforskning  
Nordisk kämsäkerhetsforskning  
Nordic nuclear safety research

NKS-34

ISBN 87-7893-085-5

---

# **NKS/SOS-1 Seminar on Safety analysis**

Report from a seminar held on 22-23 March 2000  
Risø National Laboratory, Roskilde, DK

Kurt Lauridsen  
Risø National Laboratory, Denmark

Kjell Andersson  
Karinta-Konsult, Sweden

Urho Pulkkinen  
VTT Automation, Finland

May 2001

## **Abstract**

The report describes presentations and discussions at a seminar held at Risø on March 22-23, 2000. The title of the seminar was NKS/SOS-1 – Safety Analysis. It dealt with issues of relevance for the safety analysis for the entire nuclear safety field (notably reactors and nuclear waste repositories). Such issues were: objectives of safety analysis, risk criteria, decision analysis, expert judgement and risk communication. In addition, one talk dealt with criteria for chemical industries in Europe.

The seminar clearly showed that the concept of risk is multi-dimensional, which makes clarity and transparency essential elements in risk communication, and that there are issues of common concern between different applications, such as how to deal with different kinds of uncertainty and expert judgement.

## **Keywords**

nuclear safety, nuclear waste disposal, safety analysis, safety criteria, risk analysis, risk communication, expert judgement

NKS-34

ISBN 87-7893-085-5

Pitney Bowes Management Services Danmark A/S, 2001

The report can be obtained from

NKS Secretariat

P.O. Box 30

DK – 4000 Roskilde

Denmark

Phone +45 4677 4045

Fax +45 4677 4046

<http://www.nks.org>

e-mail: [nks@catscience.dk](mailto:nks@catscience.dk)

# **Project NKS/SOS-1**

## **NKS/SOS-1 Seminar on Safety analysis**

**Report from a seminar held on 22-23 March 2000  
Risø National Laboratory, Roskilde, DK**

**Kurt Lauridsen (Risø National Laboratory)  
Kjell Andersson (Karinta-Konsult)  
Urho Pulkkinen (VTT Automation)**

# Indholdsfortegnelse

<b>Summary of sessions. ....</b>	<b>3</b>
<i>Session 1. Aims and purpose of safety analysis .....</i>	<i>3</i>
<i>Session 2. Criteria for risk .....</i>	<i>4</i>
<i>Session 3. Method questions.....</i>	<i>6</i>
Decision analysis.....	6
Reactor safety .....	6
Nuclear waste disposal .....	7
Expert judgement .....	8
<i>Session 4. Risk communication .....</i>	<i>9</i>
<b>Summing up the seminar .....</b>	<b>11</b>
<b>A final comment .....</b>	<b>12</b>
<b>Appendix 1: Seminar programme .....</b>	<b>13</b>
<b>Appendix 2: List of participants .....</b>	<b>15</b>
<b>Appendix 3: Presentations.....</b>	<b>18</b>

## Summary of sessions.

### Wednesday 22 March

Kurt Lauridsen welcomed the participants to Risø National Laboratory and gave a brief introduction to the activities of the laboratory.

Kjell Andersson gave an introduction to the seminar, noting that the composition of the audience was somewhat unusual in that there were participants working with the safety of nuclear waste disposal as well as people working with reactor safety. In addition, the seminar would comprise a presentation concerning the handling of the safety of chemical industry in Europe. Thus a possibility was seen for a somewhat broader approach to the safety analysis issue than usual.

### **Session 1. Aims and purpose of safety analysis**

Tönis Papp, Head of research at SKB, in his presentation "Stepwise decision making and stepwise acceptance – the role of safety analysis in the question of final disposal" outlined the principles and the steps of risk analysis that had been carried through in the Swedish work to establish a deep geological disposal of spent nuclear fuel. The analysis had started at a conceptual stage where little was known about the design of the repository and has to be carried through to cover the various phases in establishing, operating and eventually closing the repository. There is a stepwise approach both in the design, in the review and licensing, and in the understanding and acceptance of the repository by the society. Tönis noted that in the case of disposal of radioactive waste it is not possible to postpone decisions until all relevant information is available; some decisions must be taken on the basis of uncertain information. It is, therefore, important that decisions are reversible, in case new information changes the basis for the decision. In his conclusions Tönis pointed to the fact that it is not yet fully explained or appreciated how a stepwise safety case should be developed in an orderly way, nor how the authorities should evaluate it. Also there is a need for substantial improvement in the presentation of the complicated issues of a safety assessment to the layman.

During the discussion following the presentation Magnus Westerlind, SKI, put forward the question whether there is a need to become more interactive with the public rather than becoming better on the presentation of the safety analyses. Heikki Raumolin, Fortum, on the other hand, expressed the point of view that the public is not interested in the detailed safety analyses; the industry itself must take care of the safety analyses and make certain that the facilities are safe. Sören Norrby, SKI, considered an open and stepwise process necessary in order to get acceptance; not everybody will be able to understand everything, but they must have the possibility to see as much information as they desire. Finally, Lennart Hammar, ES-Konsult, stressed that the safety analyses that are being performed are the concerns of the entire society, and he phrased the question how to keep the line so that the public is engaged in the assessments rather than the technical details.

The next presentation, "Can risks be compared? Experience and prognosis", was given by Lars Gunsell, SKI. He drew up three groups of problems in the comparison of different risks: the multidimensionality of risk, the subjectivity in the assessment

and perception of risk from different sources, and the need to define how different risks should be weighed relative to each other. As an example of the subjectivity in the assessment of risk he mentioned that the recent criticality accident at the Japanese Tokaimura plant had received a very large world-wide attention despite of the fact that the number of fatalities was very small compared to e.g. the annual number of fatalities in the Swedish road traffic. A three-step approach to compare risks from different activities was sketched (cf. copy of overhead slide). As a conclusion Lars noted that the most important questions to solve in a comparison of risks are: to find methods to compare different dimensions of risk, to set up a method for the comparison of risks and to establish the magnitude of acceptable risk at a general level.

During the discussion after the presentation Lennart Hammar noted that often both the risk to humans and the risk to the environment had to be considered, and he asked how this could be combined in a risk assessment. Lars Gunsell answered that in most cases they had to be treated separately. Björn Wahlström, VTT, noted that the Tokaimura accident, mentioned by Lars, had had the effect that many people suddenly had to change their impression of the way the Japanese handle the nuclear industry. That might lead people to ask themselves whether their impression of the situation in other countries could be wrong, as well. Tönis Papp expressed the point of view that society ought to address the questions of long term/short term and long range/short range risks on a general level, without considering any particular activity.

## **Session 2. Criteria for risk**

(Protection of individuals, economical reasonableness, quality criteria)

Jorma Sandberg, STUK, in his talk, "Risk Criteria in Reactor safety", outlined the Finnish approach based on both deterministic and probabilistic criteria. Concerning the latter there are numerical design guidelines intended for new reactors, but also serving as guidelines for existing reactors. The overall risk objectives are expressed as a core damage probability of less than  $10^{-5}$  /year and a probability of a large release of less than  $10^{-7}$  /year. In the risk informed decision-making the probabilistic methods are used to form an overall picture of risks, complementing the deterministic methods, in order to ensure adequate safety. PSAs are used for plant modifications in the way that the licensee must provide STUK with an assessment of the safety significance of the change, including PSA modelling of the candidate hard- and software. Furthermore, STUK carries out systematic risk follow-up studies taking into account, among others, licensee event reports. At the conclusion of his presentation Jorma mentioned a number of limitations in the use of PSA: the uncertainty of input data, the incompleteness of models, the limitations in scope and the varying degree of conservatism for different initiating events.

During the discussion Nils Rydell, KASAM, noted that the list of criteria shown by Jorma was much longer than the list that might be drawn up for waste disposal. He found that in order to convince the public that an activity is safe it might be useful with some part criteria, e.g. "there will be no release from this depository in 100.000 years". Tönis Papp mentioned that in the USA they have seen it as a problem that if you set up a criterion there must be someone to "defend" that it is fulfilled. Referring to the criteria mentioned by Jorma for reactors, Britt-Marie Drottz Sjöberg asked if there will be similar criteria for waste repositories. Jorma confirmed this. Referring to

STUK's PSA code, Lennart Hammar asked whether the utilities have their own, different, codes. Jorma explained that TVO uses the same code as STUK; at Loviisa a separate code has been developed, but the models from this code have been transferred to STUK's code.

Carl-Magnus Larsson, SSI, in his talk "Criteria for Risk - Repositories for Nuclear Waste", described the regulatory process in Sweden and gave, as well, an outline of the recommendations of the International Commission on Radiological Protection, given in ICRP 81. In order to fulfil the safety goal for the installation in question a number of criteria must be met. This, in turn, can be ascertained by following a number of standards relevant for each criterion. The standards may comprise substandards, as well. Standards, for instance, may be dose standards and standards relevant to the process or to management. In a figure (in copies of OH-slides) Carl-Magnus showed that the application of the most recent Swedish standard, SSI FS 1998:1, leads to a substantially lower annual risk than the application of ICRP 81. He gave reference to a paper, which describes the criteria in further detail ("Health and Environmental Criteria and Standards" in Proceedings of the international Symposium on Radioactive Waste Disposal, Stockholm, August 31 - September 4, 1998).

During the discussion Magnus Westerlind, SKI, asked whether the ICRP distinguishes between an operating facility and a closed repository. Carl-Magnus replied that the ICRP not really makes any distinction between the two. Britt-Marie Drottz Sjöberg asked whether there would be any differences in the standards if environmental questions were considered. Carl-Magnus replied that these issues are considered in the criteria, but he assumes that they will not represent any large radiation problem.

Kurt Lauridsen, Risø, in his presentation, "The Seveso directive", gave an overview of the criteria set up within the European Union for chemical industries. The aims of the Seveso II directive are the prevention of major-accident hazards involving dangerous substances and the limitation of the consequences of such accidents for man (safety and health aspects) and for the environment. The directive does not set up acceptance criteria for risk - these are national responsibilities, but the national legislation must be in accordance with the directive. Companies covered by the directive are divided into *lower tier* and *upper tier establishments*, depending on the amounts of dangerous substance they hold. The Directive contains lists with threshold amounts for the relevant substances. The upper-tier establishments must provide a safety report comprising descriptions of emergency plans and management systems. Lower tier establishments need not provide a safety report, but must notify the relevant authorities about their activities. Kurt further mentioned the approaches to risk analysis within this area and the criteria applied in different European countries. Most countries have a consequence based approach; a few - most notably the Netherlands - use a risk (PRA) based approach with criteria for individual risk and societal risk expressed in terms of probabilities.

During the discussion Carl-Magnus Larsson asked how the dose-response curves had been established. Kurt replied that for most chemical substances fairly good dose-response functions had been established based on experiments with animals.



**Thursday 23 March**

### **Session 3. Method questions**

#### **Decision analysis**

Urho Pulkkinen, VTT, gave a brief introduction to the session, after which Björn Wahlström, VTT, gave his presentation on "Difficult decisions in society". He went through the elements of a decision process, outlining the difficulties in carrying out a purely rational decision. Some of these difficulties can be overcome by using a formal decision model, which describes the decision process one intends to follow in deciding on a particular matter. The model should make it possible to distinguish between objective elements and elements of opinion. Transparency in the arguments is important, as well as a clear communication. Decisions on a complex question may become easier to reach by subdividing the decision in a series of smaller decisions. It is important that all those involved accept the decision. In his conclusions Björn mentioned that the political decision processes known in our countries may not be so bad, after all, because the debate that precedes the decision can be seen as a rational component where it is ensured that all involved have been heard, all alternatives discussed and all the preferences presented.

During the discussion Palle Christensen, Risø, expressed doubt that it would be possible in a decision process to be just to all parties. Kjell Andersson noted that Björn had described a very rational and extensive process, but that in a real situation a new event or argument may suddenly arise, which will disturb the process and achieve too heavy weight. Tönis Papp stressed the importance of agreeing on the necessity of taking a decision; in the question of nuclear waste disposal, for instance, it can be a problem to convince everybody that a decision must be taken now. Jorma Sandberg posed the question whether the decision-makers understand the complex decision process. Björn doubts that they understand all elements, but it should be attempted to open their eyes for as many elements as possible.

#### **Reactor safety**

In her presentation "Uncertainty in reactor safety analyses" Kaisa Simola, VTT, conveyed experiences from on-going studies in the SOS-2 project. The presentation comprised results from a comparative study of two level 1 PSAs on similar plants (O3/F3) and from a study of uncertainties in deterministic models used in PSAs. Some findings from the comparative study show differences in the organisation of the projects (e.g. resources and working methods), differences in the initiating events considered (CCIs, LOCA-categories and frequencies, loss of offsite power), and differences in event tree analyses (definition of core damage, definition of end states, success criteria for certain safety functions). Results on a general level will be presented in an NKS report. Concerning the uncertainties of deterministic models a qualitative approach has been taken to identify and classify the major sources of uncertainties, the role of expert judgements and the possibilities for reducing uncertainties. Furthermore, case studies are carried out, for instance a BWR hydrogen case from the SOS-2.3 task. In her conclusions Kaisa mentioned the importance of the identification and documentation of various types of uncertainties and assumptions in the modelling of phenomena in order to contribute to the transparency of the PSA.

During the discussion Tönis Papp asked for a definition of the term "risk informed decisions", which Kaisa had mentioned. Kaisa explained that it just covers using PSAs when making decisions. Jorma Sandberg supplemented by pointing out that the use of the term "risk informed" rather than "risk based" indicates that other factors may also be important for a decision. Lennart Hammar expressed the opinion that supplementing safety reports with uncertainty considerations is important with a view to communication of the results. With a reference to STUK's requirements concerning the probabilities of large releases Kjell Andersson asked how to take care of the lack of knowledge in PSAs. Jorma Sandberg stated that this would depend on the purpose of the PSA in question. Urho Pulkkinen noted that there exist rational methods to treat the lack of knowledge.

### **Nuclear waste disposal**

Allan Hedin, SKB, in his talk, "Methodology for SR-97. Long-term safety for deep disposal of spent nuclear fuel", gave a thorough description of the methods used in the safety analysis SR-97. The purpose of this analysis was to provide the prerequisites for building a safe deep disposal site in Swedish rock, to demonstrate methodology for safety analyses and to give the basis for setting demands to the rock, formulate a programme for the investigation of the site and the design of barriers. The safety must be assessed for a period of one million years. The analysis approach comprised three steps: a description of the condition of the system just after closure, a description of the changes over long periods of time due to internal and external impacts and an evaluation of the consequences of such changes to the safety.

A starting point for the analysis was the so-called FEP lists of Features, Events and Processes important to the long-term safety. These were identified for the fuel, the encapsulation, the buffer material and the geosphere, and for each of these four parts THMC diagrams were constructed. In these diagrams relevant Thermal, Hydraulic, Mechanical and Chemical processes were represented, showing e.g. the possible influence of a process in one part to another part of the repository. The THMC diagrams were used for the study of a number of scenarios. Allan also mentioned the different types of uncertainties relevant to safety analyses of waste repositories; there are qualitative uncertainties such as the problem of completeness, understanding of processes and modelling, and quantitative uncertainties due to lack of knowledge or natural variability in time and space. In his final remarks Allan noted that there is no standard method for this kind of analysis - every kind from probabilistic to non-probabilistic analyses can be seen, in part due to differences in national tradition and legislation.

Immediately following Allan's talk Juhani Vira, Posiva, presented the Finnish approach in his talk "Safety analysis of final disposal of spent nuclear fuel", focusing on the differences to SKB's analysis. The approach was consequence based, i.e. no quantitative probability assessments have been carried out, and the decision criteria are based on dose. Like the Swedish studies some base scenarios were defined and variations and sensitivity studies were performed. Robust models and conservative data have been used. Juhani listed four items of remaining uncertainty: completeness of the selection of scenarios, probability of scenarios with large consequential doses, validity of theoretical concepts and models and reliability and representativity of (measured) data. He expressed scepticism towards the possibility of quantifying the uncertainties. Therefore, he concluded that the safety analysis is a necessary tool for

decision making, but it will never give a complete answer to the question whether something is acceptable or not. Decisions must be based on assessments without complete information about the uncertainty. The safety analysis will serve to compare alternative solutions.

During the discussion of Allan's and Juhani's presentations Nils Rydell asked about the time horizon considered. Juhani's reply was "forever", while Allan limited it to a million years. Nils wondered whether decision theoreticians would recommend to base decisions on something, which may happen in more than 100.000 years.

### **Expert judgement**

Due to time constraints Urho Pulkkinen shortened his presentation, "Uncertainty, Expert Judgements and Safety related Decisions" and concentrated on elements of the expert judgement process. However, all the OH-slides he had prepared are included in the appendix.

The risk assessments of nuclear facilities are nowadays very extensive and require many types of expertise. Since the interest is on very high safety, accidents with very small probabilities must be taken into account. This implies the analysis of poorly known phenomena for which there is very little empirical evidence. Further, risk assessments usually consist of several parts, each having its own methodology and different approaches to deal with uncertainty.

Expert judgements must be made in all phases of risk assessments, and often these judgements are made implicitly and they are not documented in sufficient detail. One aim of the approaches developed for expert judgement is to document the judgements in a transparent way.

The process of using expert judgements starts with identifying the issues to be considered. The most important criterion for selecting issues for consideration is their safety significance. Other criteria are the lack of relevant empirical data and validated models. Characteristic to this kind of issue is the lack of consensus among experts on the features of the phenomena.

An essential part of the expert judgement process is the selection of experts. According to the NUREG-1150 expert judgement methodology, an expert is "a person who has special skills, training and expertise in the subject area and is recognised by his/her peers or those conducting the study". More specifically, the experts should represent a wide variety of experiences and they should be knowledgeable about the state of the art about the subject. They should also have a wide perspective of the issues. It is also important that the experts are willing to have their judgements elicited. The expert judgement process should use a wide variety of expertise and different experts, in order to cover sufficiently the different aspects of the issue.

Aiming at reaching a "rational consensus" about the issue, the expert judgement process should fulfil some requirements. It should be *reproducible*, i.e. there should be a possibility to repeat all the calculations, and all the models used should be fully specified. The expert judgement process should also be *accountable*, i.e. the source of judgement should be identified, and the decision-maker should have possibility to trace every subjective assessment to the name of person or institution from where it

comes. In addition to this, the experts' judgements should (at least in principle) be susceptible to *empirical control*, and the assessments should be falsifiable. Further, the process should be *neutral* in the sense that it should encourage the experts to express their true opinions. All experts should be treated equally, prior to processing the results of observations (*fairness*).

The participants of a well-organised expert judgement process include a *decision-maker*, *normative experts* and *domain experts*. The decision-maker is the owner of the problem and responsible for decisions. He/she uses the results of the process for his/her own purposes. Since the process usually leads to probability statements on the issue under analysis, the task of a normative expert is to clarify the concepts of probability for the other participants. The normative expert also leads the discussions and guides the process, and finally combines the assessments. The domain experts analyse the issue and assess the uncertainties related to the issue.

During the expert judgement process, the assessments are elicited and discussed in the expert group. Depending on the approach, the process may include individual experts' analyses, several expert panels and interviews, or elicitation sessions. Finally the judgements (often probability distributions) are combined to form a "consensus" assessment.

There are several methods or approaches for using expert judgements. One of the most extensive is the NUREG-1150 approach, which is based on probabilistic techniques. From the decision aiming point of view, it is important that the whole process of achieving consensus about an uncertain issue by using expert judgement is documented. The documentation should summarise the state of knowledge on the issue as understood by the experts, and present the corresponding argumentation basis to the decision-maker.

During the discussion Ralf Espefält, Vattenfall, asked whether there have been any tests of the reliability of expert judgement. Urho confirmed that there have been such tests, he has participated in some himself. However, in many situations it is impossible to judge whether the results of an expert judgement process are valid. More important characteristics of a good process are the transparency of the method and the quality of documentation.

#### **Session 4. Risk communication**

Ralf Espefält, Vattenfall, presented "The role of the authorities towards (the public and) industry in Sweden". He outlined the current economical situation for Swedish nuclear power with a heavy cost burden due to low electricity prices. Thus there is limited space for costly modifications. He, therefore, expressed the industry's wish that the requirements from the authorities be predictable, stable and consistent, that the consequences have been analysed and related to benefit, and that the requirements be goal- and result oriented rather than prescribing specific means.

During the discussion Britt-Marie Drottz Sjöberg asked if the level of safety could be maintained under the sombre economical conditions. Ralf assured that there is still a program for safety improvements. Heikki Raumolin commented that the authorities ought to have in mind the fact that power plants need to be profitable and that this is also a prerequisite for safety. Ralf added that in Sweden a consequence analysis,

including economy, must be carried out when the authorities give requirements. Lennart Hammar agreed that there is a conflict between safety and economy, but that the safety related requirements must be fulfilled. However, when the economy becomes tight one unknowingly may become less attentive to safety matters. Maybe society should support safety by not imposing so high production taxes to electricity.

Kjell Andersson, Karinta-Konsult, in his presentation, "A map of values in nuclear waste risk assessment", addressed the question of how the safety analysis will become transparent - for other people than the ones who carry out the analysis.

The choice of overall approach to the long-term management of high level nuclear waste must rely on a number of value based considerations. The very question whether to act in our lifetime for a final solution, typically including a deep repository, or to wait for a possible technical and economical breakthrough for new technologies, such as transmutation, that eventually could decrease the amount of radioactivity, is maybe the most obvious value-laden issue. Closely linked to this are considerations how closed and "final" a repository should be. If the principle of retrievability leads to a "final" repository that may be left open for an undefined period of time, one values flexibility before final solutions to the extent that the consequence for future generations can not be foreseen. Furthermore, the selection of a site for a repository involves more value-laden aspects than is normally acknowledged.

In a report for SKI and SSI, Kjell had used factors of importance for peoples risk perception to analyse the inventory of arguments made by numerous organisations in the review process for SKB research and development programs. The result of this analysis is that value-laden arguments about method, siting and criteria/safety analysis are commonly represented in the arguments.

In conclusion there are both factual and value-laden issues involved when it comes to decisions in (for example) nuclear waste management. This needs to be transparent for the decision-makers and the public. The RISCOP Pilot Study, funded by SKI and SSI, has given a framework for transparency that builds on three blocks: facts, values and authenticity. Facts can be clarified with scientific methods and relate to questions like "Is it true?" or "Are we doing things right?" Value-laden issues relate to questions like "Are we doing the right things?" and reflect what is considered fair and acceptable in society – what is legitimate. Authenticity is what builds trust – it has to do with the consistency between the actions of a person (or organisation) and who the person (or organisation) is, and the role in the decision-making context.

To achieve transparency there must be appropriate procedures in which decision-makers and the public can validate claims of truth, legitimacy and authenticity. Another element in the transparency model is the concept of "stretching", which means that the environment of the implementer (of e.g. a nuclear waste management program) is sufficiently demanding and that critical questions are raised from different perspectives.

During the discussion Lars Gunsell posed the question: "If a broader circle is involved in the assessment of a safety analysis, will their points of view then be taken back into the analysis?" Heikki Raumolin commented that the most important point for the

industrial plant is to find a solution that can be accepted by everyone. Juhani Vira expressed the experience that the public may not be so much interested in which doses etc. can arise from a given activity, but whether it is possible at all to predict the risk on such a long term as is the case for waste.

The last presentation of the seminar was "The expert's perception of risk" by Britt-Marie Drottz-Sjöberg, NTNU. In the talk Britt-Marie gave results from a number of questionnaire surveys of the opinions and perceptions of various risks by groups of "experts" and groups representing the public. The risks in question were mainly concerned with nuclear power and nuclear waste disposal, but she also reported on surveys concerning a broader spectrum of risks, illustrating the factors that influence a persons perception of a certain risk. Apart from registering the differences in risk perception between experts and laymen one of the surveys had also examined each groups' perception of the other group's perception of risk. The general picture here was that the experts had a fairly correct perception of how laymen judge various risks, whereas the laymen are less successful in determining how the experts judge the same risks. Laymen tended to believe that experts saw larger risks than they actually did. This is considered an important result to note, since it must be assumed that risk communication (and probably any other communication, as well) is facilitated if the different actors have a correct picture of how the other actors judge the risks in question. The survey of mutual risk perception is reported in a paper by Lennart Sjöberg et al., "Through a glass darkly: experts and the public's mutual risk perception". Seminar participants were given the possibility to request a copy of this and other relevant articles from Britt-Marie.

During the discussion Heikki Raumolin informed that a survey in Finland comparing the attitudes to nuclear power by the public and media people had shown that the latter group was more negative than the public. He considered this a problem, since the media people have great influence on the forming of opinions. Lars Gunsell raised the question whether in some cases one should use the "real" (calculated) risk and in other cases a more subjective risk as the basis for decisions. Björn Wahlström noted that one should ask the "society" how high the price of a given activity may be.

## **Summing up the seminar**

In order to summarise the seminar, Kjell Andersson put forward the questions:

- Can any experience be transferred from one area to the other?
- How do we handle questions concerning the public's risk perception?

To the first question Urho Pulkkinen commented that both areas can learn from the other; in reactor safety, for instance, PSA represents a "holistic" approach, full of details and not easy to communicate. This area could take a decision analysis view, like in the waste field.

Reminding about Lars Gunsell's talk about comparing risks Kjell took forward Lars' last OH-slide, which sketched a three-step approach to risk comparison between different activities. Lennart Hammar noted that there have been made a number of attempts to compare impacts and risks from different energy sources, for instance by Nils Starfelt. Also studies carried out by the IAEA and in an EU project were mentioned.

With reference to the waste issue Tönis Papp underlined that it is important to gain acceptance of the (stepwise) process applied.

Referring to the use of PSAs in reactor safety as a tool to support decisions concerning plant changes etc., Jorma Sandberg asked whether the waste management people think they have areas where PSA could be useful. Juhani Vira definitely did not think this would be the case.

The last comment in the discussion was given by Lars Gunsell, who expressed some disappointment by the fact that safety analysis had not gained quite as much convincing power as had been hoped for.

## **A final comment**

The seminar clearly showed that the very concept of risk is multi-dimensional, which makes clarity and transparency essential elements in risk communication. The two fields of reactor safety and nuclear waste disposal have quite different characteristics with respect to e.g. how PSA could eventually be done (if at all for a nuclear waste repository). Still there are issues of common concern for both fields, such as how to deal with different kinds of uncertainty and expert judgement. There should also be more to learn about how the safety analysis could be developed as a tool in the overall decision-making context.

## **Appendix 1: Seminar programme**

### **Wednesday 22 March**

13.00 Introduction (Kurt Lauridsen, Kjell Andersson)

#### ***13.20 Session 1. Aims and purpose of safety analysis***

- Stepwise decision making and stepwise acceptance – the role of safety analysis in the question of final disposal (Tönis Papp, SKB)
- Can risks be compared? , Experience and prognosis (Lars Gunsell, SKI)
- Discussion

14.30 Coffee

#### ***15.00 Session 2. Criteria for risk***

- Risk criteria in reactor safety (Jorma Sandberg, STUK)
- Criteria for Risk - Repositories for Nuclear Waste (Carl-Magnus Larsson, SSI)
- The Seveso directive (Kurt Lauridsen, Risø)
- Discussion

17.15 End of the day

### **Thursday 23 March**

#### ***09.00 Session 3. Method questions***

- Introduction (Urho Pulkkinen, VTT)
- Difficult decisions in society (Björn Wahlström, VTT)
- Uncertainty in reactor safety analyses (Kaisa Simola, VTT)

10.15 Coffee

- Methodology for SR-97. Long-term safety for deep disposal of spent nuclear fuel (Allan Hedin, SKB)
- Safety analysis of final disposal of spent nuclear fuel (Juhani Vira, Posiva)
- Uncertainty, Expert Judgements and Safety related Decisions (Urho Pulkkinen, VTT)
- Discussion

12.00 Lunch

#### ***13.00 Session 4. Risk communication***

- The role of the authorities towards (the public and) industry in Sweden (Ralf Espefält, Vattenfall)



- A map of values in nuclear waste risk assessment (Kjell Andersson)
- The expert's perception of risk (Britt-Marie Drottz-Sjöberg, Norges Tekniska Högskola, Trondheim)
- Discussion

15.30 End of the seminar

## Appendix 2: List of participants

Name:	Address:	Telephone, fax, e-mail
Andersen, Henning Boje	Risø National Laboratory SYS-110 P.O. Box 49 DK 4000 Roskilde DANMARK	Institution phone: +45 4677 4677 Direct phone: +45 4677 5141 Fax: +45 4677 5199 henning.boje.andersen@risoe.dk
Andersson, Kjell	Karinta-Konsult Box 6048 SE 187 06 Täby SVERIGE	Institution phone: +46 8-510 147 55 Mobil: +46 798 111 566 Fax: +46 8-510 147 56 kjell.andersson@karinta-konsult.se
Bennerstedt, Torkel	NKS Sätravägen 5 SE 184 52 Österskär SVERIGE	Mobil: +46 708-226 222 torkel@teknotelje.a.se
Christensen, Palle	Risø National Laboratory SYS-110 P.O. Box 49 DK 4000 Roskilde DANMARK	Institution phone: +45 4677 4677 Direct phone: +45 4677 5122 Fax: +45 4677 5199 palle.christensen@risoe.dk
Espefält, Ralf	Vattenfall AB Elproduktion SE 162 87 Stockholm SVERIGE	Institution phone: +46 8-739 50 00 Direct phone: +46 8-739 53 47 Fax: +46 8-37 77 95 ralf.espefalt@generation.vattenfall.se
Gunsell, Lars	SKI SE 106 58 Stockholm SVERIGE	Institution phone: +46 8-698 84 00 Direct phone: +46 8-698 84 76 Mobil: +46 70-379 88 12 Fax: +46 8-661 90 86 lars.gunsell@ski.se
Hammar, Lennart	ES-Konsult Dalvägen 63 A SE 187 33 Täby SVERIGE	Institution phone: +46 8-768 24 41 Fax: +46 8-758 30 87 lennart.hammar@mbox301.swipnet.se
Hedin, Allan	SKB Box 5864 SE-102 40 Stockholm SVERIGE	Phone: +46 8 459 85 84 Fax: +46 8 661 57 19 Allan.Hedin@skb.se
Hornkjøl, Sverre	Statens Strålevern P.O.Box 55 N-1332 ØSTERÅS NORGE	Phone: +47 67 16 25 00 Fax: +47 67 14 74 07 sverre.hornkjol@nrpa.no
Hukki, Kristiina	VTT Automation Box 1301 FI 02044 VTT FINLAND	Phone: +358 9 456 6756 Fax: +358 9 456 6752 Kristiina.hukki@vtt.fi
Larsson, Carl-Magnus	SSI 171 16 Stockholm SVERIGE	Phone: +46-8 - 729 71 00 Fax: +46-8 - 729 71 08

Name:	Address:	Telephone, fax, e-mail
Larsson, Stig-Erik	Sydskraft Sycon SE 205 09 Malmö SVERIGE	Institution phone: +46 40-25 60 00 Fax: +46 40-25 47 74 stig-erik.larsson@sycon.se
Lauridsen, Kurt	Risø National Laboratory SYS-110 P.O. Box 49 DK 4000 Roskilde DANMARK	Institution phone: +45 4677 4677 Direct phone: +45 4677 5124 Fax: +45 4677 5199 kurt.lauridsen@risoe.dk
Löfgren, Tomas	SSI Statens strålskyddsinstitut SE-171 16 Stockholm SVERIGE	Phone: +46-8 - 729 72 63 Fax: +46-8 - 729 71 62 tomas.lofgren@ssi.se
Norrby, Sören	SKI Klarabergsviadukten 90 SE-106 58 Stockholm SVERIGE	Phone: +46 8 698 84 82 Fax: +46 8 661 90 86 Soren.Norrby@ski.se or Soren.Norrby@swipnet.se
Papp, Tönis	SKB Box 5864 SE 102 40 Stockholm SVERIGE	Institution phone: +46 8-459 84 00 Direct phone: +46 8 459 85 32 Fax: +46 8-459 55 19 tonis.papp@skb.se
Paulsen, Jette L.	Risø National Laboratory SYS-110 P.O. Box 49 DK 4000 Roskilde DANMARK	Institution phone: +45 4677 4677 Direct phone: +45 4677 5126 Fax: +45 4677 5199 jette.l.paulsen@risoe.dk
Pulkkinen, Urho	VTT Automation PB 1301 FI 02044 VTT FINLAND	Institution phone: +358 9-456 1 Direct phone: +358 9-456 6444 Fax: +358 9-456 6475 urho.pulkkinen@vtt.fi
Raumolin, Heikki	Nuclear Power Fortum Power and Heat Oy POB 10 FIN-00048 Fortum FINLAND	Phone: + 358 10 453 3991 Fax. + 358 10 453 3985 heikki.raumolin@fortum.com
Rødmyr, Stine	Statens Strålevern P.O. Box 55 N-1332 Østerås NORGE	Phone: +47 67 16 25 80 Fax: +47 67 14 74 07 stine.rodmyr@nrpa.no
Rydell, Nils	KASAM Villavägen 34 178 33 Ekerö SVERIGE	Phone: +46 8-560 32166 Fax: Same as the phone number nils.rydell@mbox304.swipnet.se
Sandberg, Jorma	Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) Nuclear Reactor Regulation PO Box 14 FIN-00881 Helsinki FINLAND	Phone: +358-9-759 88 363 Fax: + 358-9-759 88 382 jorma.sandberg@stuk.fi
Simola, Kaisa	VTT Automation Box 1301 FI 02044 VTT FINLAND	Institution phone: +358 9-456 1 Direct phone: +358 9-456 67 74 Fax: +358 9-456 67 52 kaisa.simola@vtt.fi

Name:	Address:	Telephone, fax, e-mail
Sjöberg, Britt-Marie Drottz	NTNU, SVT-fakultet Institutt for Psykologi NO 7491 Trondheim NORGE	Institution phone: +47 7359 7485 Fax: +47 7359 19 20 brittds@sv.ntnu.no
Söderberg, Olof	Miljöministeriet SE-103 33 SVERIGE	Phone: +46 8 405 3754 Fax: +46 8 20 10 66 olof.soderberg@environment. ministry.se
Vira, Juhani	Posiva Oy Mikonkatu 15 A 00100 HELSINKI FINLAND	Phone: +358 9 2280 3740 Fax: +358 9 2280 3719 juhani.vira@posiva.fi
Wahlström, Björn	VTT Automation PB 1301 FI 02044 VTT FINLAND	Institution phone: +358 9-456 64 00 Mobil: +358 400-448710 Fax: +358 9-456 6752 bjorn.wahlstrom@vtt.fi
Weber, Steen	Risø National Laboratory SYS-110 P.O. Box 49 DK 4000 Roskilde DANMARK	Institution phone: +45 4677 4677 Direct phone: +45 4677 5140 Fax: +45 4677 5199 steen.weber@risoe.dk
Westerlind, Magnus	SKI SE 106 58 Stockholm SVERIGE	Institution phone: +46 8-698 84 00 Direct phone: +46 8-698 86 84 Fax: +46 8-661 90 86 magnus.westerlind@ski.se
Wethe, Per	IFE P.O. Box 40 NO 2007 Kjeller NORGE	Institution phone: +47 63 80 60 04 Fax: +47 63 81 64 93 per.wethe@ife.no
Wiklund, Åsa	SSI Statens strålskyddsinstitut SE-171 16 Stockholm SVERIGE	Phone: +46-8-729 72 49 Fax: +46-8-729 71 08 asa.wiklund@ssi.se

## **Appendix 3: Presentations**

# **Säkerhetsanalysens** **Mål och Syften**

**Djup Geologisk Förvaring av  
Använt Kärnbränsle**

**Analys av Säkerheten Efter Förslutning**

**Tönis Papp  
Svensk Kärnbränslehantering AB**



NKS/SOS1 seminar Risö, Mars 2000/TP

## **Methodology 1**

- ◆ Not Completely Defined Systems  
System boundaries
- ◆ Data and Uncertainty  
Models and Validity
- ◆ Features Events and Processes  
Scenarios
- ◆ Sustainable development; Biodiversity  
Risk / Dose; Disaggregation



## Methodology 2

- Controversial issue
- Decide (and design) as you go
- Stepwise Approach
- Bounding Evaluation
- Decision-making / Reversibility



## The Swedish Steps 1

- Disposal principles and repository concept
  - ..... KBS-3
- Subsystem alternatives (materials, design, rock-type)
  - ..... WP-Cave, SKB 91, PASS - study
- System design and safety strategy for barriers
  - ..... SR 97
- Characterisation of 2 sites, adaptation to site
  - = Selection of site, Licensing



## The Swedish Steps 2

- **Tunnel/shaft, for inv. and operations**
- **Final systems design and site utilisation**  
= Permission to start disposal operations
- **Initial operation**  
= Evaluation of experience, new permission
- **Regular operation**  
= Permission for closure
- **Closure, Institutional control**



## Use of stepwise approach

- **Stepwise Decisions (design, layout)**
- **Stepwise Review and Licensing**
- **Stepwise Understanding and Acceptance**





## **Stepwise Decisions**

- Well developed logic
- Steps selected to
  - availability of new information
  - late closure of optional alternatives
  - even later optimisation
- Process of closing options presented in the Systems Analysis Report
- Reversibility is an important feature



## **Stepwise Regulatory Permissions**

- Fairly well developed logic
- Principle:
  - Decisions and decision-sequence must be identified.
  - Appropriate balance between potential for a safe repository and commitments caused by the next step
- Problems:
  - Criteria related to acceptance at closure.
  - Many “soft” issues in the Safety Case
  - More steps than licensing points



## Stepwise Public Acceptance

- Not well developed
- Ideal process:
  - Decision logic well known
  - Decision points identified and known
  - Possibilities for public interaction well known
  - Review process known
  - 
  - Decision basis published and reviewed
  - Reversibility recognised and evaluated
  - Zero alternative published and reviewed
- Problems:
  - Complicated issues require decisions by representatives;  
Who are representatives; Very long term aspects



## Conclusions

- The assessment of long term safety is a recognised and necessary basis in the decision-making
- How a stepwise safety case should be developed in an orderly way, and how the authorities should evaluate it is not fully explained nor appreciated
- The use of safety assessments reports as a basis when the public acceptance is formed requires substantial improvement. Especially the question of how such complicated issues should be presented to the layman.





# **NKS/SOS-1 - Säkerhetsanalys**

## **Seminarium den 22-23 mars, 2000.**

### **Risø, Roskilde**

Lars Gunsell, SKI

## **Kan man jämföra risker? Erfarenhet och prognos**

### **1. Varför riskanalys och riskjämförelse?**

Anledningen till att skaffa kunskap om de risker som finns i samhället är att kunna värdera om de är acceptabla, om de behöver minskas i framtiden och hur det kan göras samt om riskbidragen från olika verksamheter ger en ballanserad riskbild. Riskanalysens syfte är att ta fram en beskrivning av risken som ett underlag för värdering. Hur vi sedan värderar riskerna kan variera stort från en individ eller organisation till en annan. Riskanalysen kan i enklaste fallet innebära att systematiskt sammanställa fakta över inträffade skador i en pågående verksamhet men kan i komplicerade fall innebära att med teoretiska modeller och beräkningar skatta förväntade risker i framtida verksamheter. För att kunna göra en jämförelse av olika risker behöver oftast även riskvärderingen tas med. Riskanalysen innehåller flera svårigheter som behöver angripas på ett systematiskt sätt och det kan vara klokt att börja med en riskjämförelse inom ett avgränsat område. Dessa förhållanden ges en översiktlig beskrivning i följande text.

### **2. Svårigheter vid riskjämförelser**

Om man ska kunna jämföra olika risker med varandra behöver man först ta ställning till några problem som är mer eller mindre av subjektiv karaktär. Man kan tänka sig att dela upp problemen i några grupper som dock har kopplingar till varandra.

- ❖ risk har flera dimensioner och låter sig inte uttryckas i en enda parameter som medger en enkel jämförelse.
- ❖ även om risken skulle kunna uttryckas med ett enkelt mått så kvarstår att människors har subjektiva och sinsemellan olika värderingar av risker från olika verksamheter
- ❖ man behöver välja vad som menas med ballanserad risk, dvs hur ska de värderade riskerna vägas mot varandra.

Den första gruppen är i första hand kopplad till själva riskanalysen, den andra till riskvärderingen och den sista till modell för jämförelser av risker.

Till den första gruppen kan räknas bl. a.

- ◆ tidsfaktorn, dvs att jämföra risker som föreligger idag med de i framtiden. Är en konsekvens allvarligare idag eller om 1000 år?
- ◆ drift- kontra haverirelaterade risker, dvs negativa konsekvenser som faktiskt uppstår under drift jämfört med konsekvenser vid eventuellt haverier. Ex kontinuerligt utsläpp under drift av miljöfarliga ämnen jämfört med utsläpp vid eventuellt haveri. Ex stråldoser vid kontroll i kärnkraftverk jämfört med stråldoser vid haveri om fel inte upptäcks.
- ◆ osäkerheter, dvs jämföra risker beräknade med välgrundade data jämfört med teoretiskt beräknade risker baserade på begränsad kunskap kring fenomen och data.
- ◆ storleken, dvs en stora olyckor kan vara värre än flera mindre även om den sammanlagda konsekvensen är den samma.

Till den andra gruppen hör b. la.

- ◆ hur frivillig en risk är (rökning, fritidsaktiviteter)
- ◆ möjlighet att påverka risken (köra bil)
- ◆ hur nyttan av verksamheten upplevs
- ◆ individens kunskap och erfarenhet av verksamheten
- ◆ storleken på tänkbar olycka (en stor olycka upplevs som värre än många små)

De subjektiva inslaget gör att den individuella riskvärderingen skiljer sig från en ren matematisk riskoptimering (om en sådan är möjlig). En del av de subjektiva värderingarna har ett berättigande och man måste ta hänsyn till dem medan andra kan leda till felaktiga beslut. Exempel på det senare kan vara att polisens arbete uppfattas av de flesta som ett farligare arbete än brandmännens fast förhållandet är det motsatta. Vems arbetarskydd bör vi satsa mest pengar på?

För att kunna jämföra risker behöver vi också ha en modell för vad som menas med rätt balans. Olika modeller kan vara tillämpliga vid olika jämförelser.

- ◆ risken ska stå i förhållande till nyttan (förhållandet behöver anges)
- ◆ riskbidraget ska vara lika stort från alla verksamheter som är med i jämförelsen
- ◆ den marginella kostnaden för att minska risken ska vara lika för alla verksamheter som jämförs.

### **3. Avgränsning av riskanalysen**

Ska man lyckas med en riskjämförelse är det viktigt att alla svårigheter som föregående avsnitt gett exempel på har hanterats. Genom att göra avgränsningar i riskjämförelsen kan man komma ifrån en del av problemen. Man behöver inte ta in alla samhällsaktiviteter i sin jämförelse. Om man exempelvis vill jämföra kärnkraftens risker med risken med cigarettrökning så har man tagit på sig i stort alla problem som riskvärdering kan innehålla och kommer troligen inte fram till något lättbegripligt som kan få en bred acceptans.

En effektiv begränsning kan vara att jämföra olika produktionskedjor för likvärdiga produkter (ex. vis. olja och el för uppvärmning) eller samma produkt (ex. vis. el). Då bortfaller en del av de subjektiva inslagen i riskvärderingen. Man kan gå ännu längre i avgränsningen och betrakta enbart en produktionskedja för en viss produkt, ex. vis. kärnkraft och då ta med risker

knutna till urangruvor, transporter, bränsletillverkning, kärnkraftverk, avfallshantering och avfallslager. Även när man gör en avgränsning i sin riskanalys så kan verksamhetens totala risk behöva ställas i relation till samhällets övriga risker på en mer övergripande nivå för att värdera om verksamheten totalt sett är acceptabel.

Syftet med riskanalysen är som nämnt att ge underlag för riskvärdering. Ett mål är att riskvärderingen och bakomliggande riskanalys får en acceptans hos myndigheter, politiker och allmänheten. I flera fall finns krav ställda av myndigheterna för att få bedriva en verksamhet. Det betyder att riskvärderingen redan är gjord och acceptanskraven är fastställda. Då räcker det med att göra en riskanalys för att visa att uppställda krav är uppfyllda.

#### **4. Situationen för det kärntekniska området**

Situationen på kärnkraftsområdet är att all verksamhet utom slutförvar för använt bränsle är etablerad. Kärnkraftens risker är accepterade i dagsläget men inte på sikt så därför har beslut fattats att inte bygga fler kärnkraftverk och tidigarelägga avvecklingen av befintliga verk. De delar som ifrågasätts säkerhetsmässigt är i första hand kärnkraftsreaktorerna och slutförvaret av använt bränsle. För närvarande pågår en analys och värdering av slutförvar för använt bränsle.

Oavsett vilka riskjämförelser man i slutändan önskar redovisa så kan en god början vara att jämföra riskerna mellan några olika led i produktionskedjan för kärnkraft. En sådan analys kan sedan byggas ut till att omfatta jämförelser med andra energislag och andra risker i samhället om så önskas.

Vid en jämförelse som avgränsas till riskerna inom produktionskedjan för kärnkraft kan de flesta subjektiva faktorer som har med värdering att göra läggas åt sidan. Kvar finns svårigheter förknippade med riskens flera dimensioner och att välja modell för riskjämförelse. Vi kommer heller inte ifrån att göra jämförelse mot någon acceptabel risk i samhället.

De viktigaste frågorna att utreda i en sådan avgränsad riskjämförelse synes då vara:

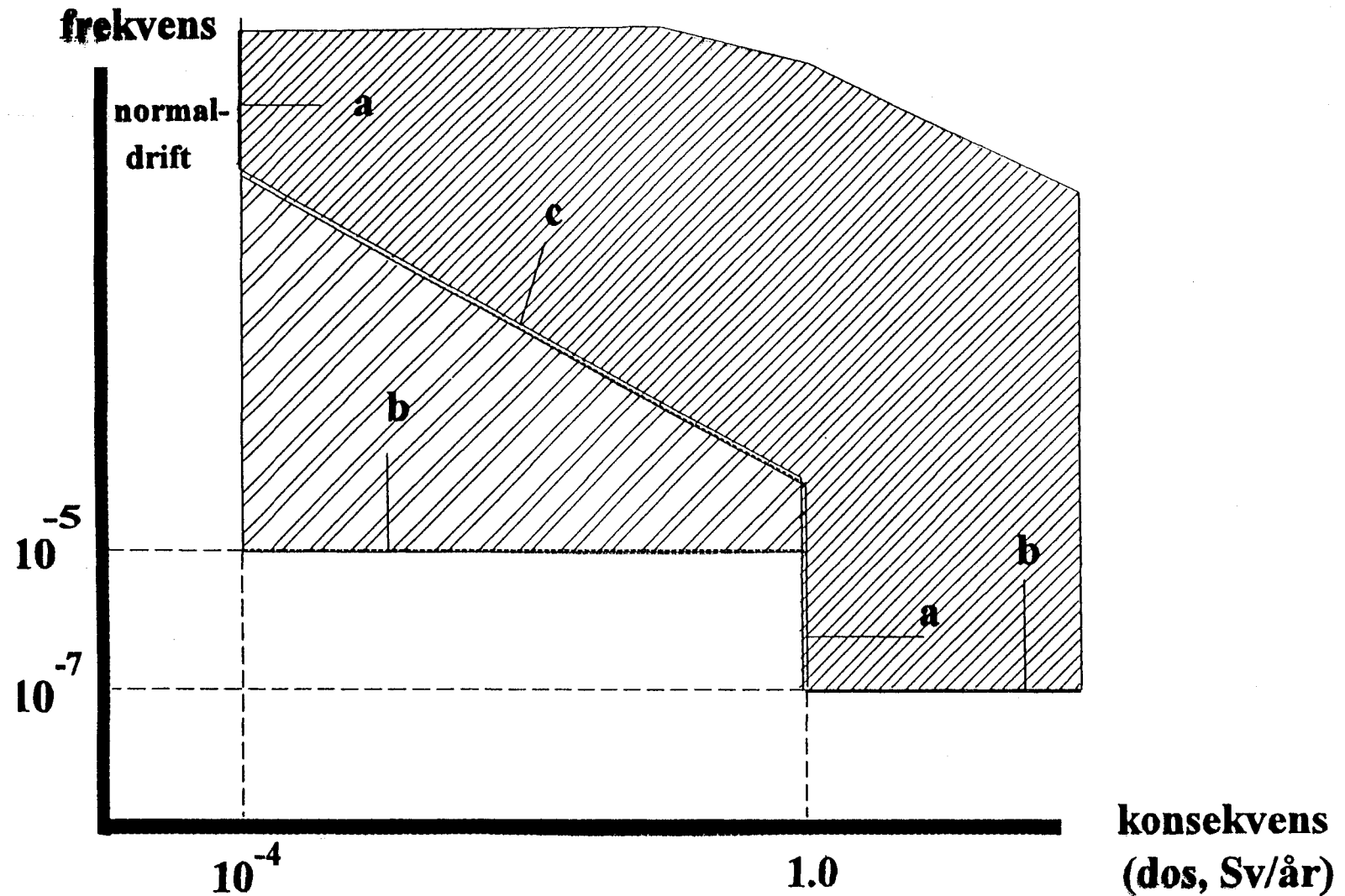
- ◆ ta fram/fastställa metod för att jämföra olika dimensioner hos risken, här främst skillnader beroende på tidsfaktorn, osäkerheter och drift-/haverirelaterade.
- ◆ ta fram/fastställa metod för riskjämförelse
- ◆ ta fram/fastställa storlek på acceptabel risk i övergripande termer

Resultatet av en sådan analys kan exempelvis vara att risken för ett slutförvar för använt bränsle är väsentligt lägre än från ett kärnkraftverk och inom acceptabla värden.

#### **Referenser**

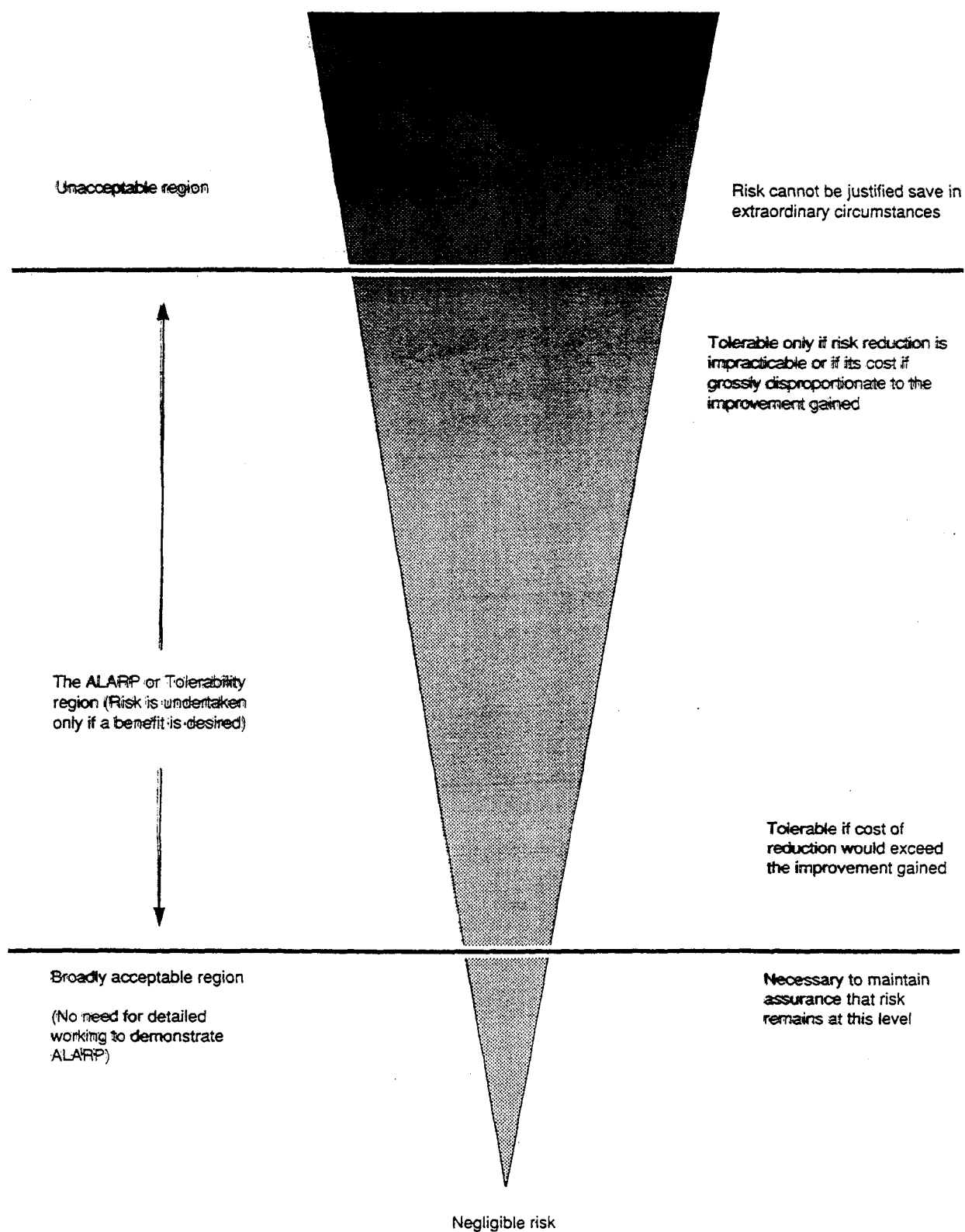
- "Kärnteknisk säkerhet. Hur värderas den?" <sup>1)</sup> SKI Rapport 96:66. Sept. 1966
- VALDOR - Values in Decisions On Risk. Proceedings från symposiet: Editor Kjell Andersson. Stockholm Juni 1999
- "The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations" Health & Safety Executive GB rev. 1992
- "Värdering av risk" Räddningsverket FoU rapport 1997

<sup>1)</sup> Kjell Andersson, Johan Andersson, Lennart Carlsson, Ann-Magret Ericsson, Lars Gunell, Richard Olsson, Clas-Otto Wene



**Figur 3:** Möjliga kriterier för kärnteknisk verksamhet uttryckt i konsekvens (årsdos) och frekvens (sannolikhet/år). Figuren illustrerar hur ett kriteriesystem kan utformas med en kombination av gränsvärden för konsekvens (typ a), sannolikhet (frekvens, typ b) och risk (typ c).

Figure 3 Levels of risk and ALARP



jfr. =  
risk-  
jämförelse

"värderade  
risker"

jfr

"summerade  
risker"

jfr

"riskbidrag,  
olika  
dimensioner"

jfr

olika  
verk-  
samheter

kärn -  
kraftverk

avfalls-  
lager

annan  
el-prod.

annan  
industri

annan  
verksamhet



# **Risk Criteria in Reactor Safety**

***Jorma Sandberg***

***STUK***

***Finland***

***NKS/SOS-1.3 Säkerhetsanalys***

***Seminar 22-23 March, 2000, Risö***

Risö 3/2000

## **General Requirement:**

***The use of nuclear energy must be safe;  
it shall not cause injury to people, or  
damage to the environment or property.***

***Systems and operation are evaluated  
against criteria:***

- **Deterministic**
- **Probabilistic**

Risö 3/2000

## Deterministic Criteria, Examples

### *Design principles*

- SAHARA-principle (safety as high as reasonably achievable)
- conservative safety analysis
- defence-in-depth (multiple barriers to release of radioactive substances)
- redundancy
  - single failure criterion
- diversity
- fail-safe -principle

Risö 3/2000

## Deterministic Criteria, 2

### *Design limits*

- Reactor fuel linear power and burnup limits
- Dry-out margins (heat transfer from fuel)
- Loss - of - Coolant accident criteria for fuel temperature and oxidization
- Containment leakage criteria
- Fire resistance requirements for structures

Risö 3/2000

## Deterministic Criteria, 3

### *Dose limits*

- operational limits:
  - personnel
  - general population
- design limits:
  - accidents
  - final disposal of waste
- ALARA-principle (as low as reasonably achievable)

Rev 3/2000

## Probabilistic Criteria

- Numerical design objectives
- Risk informed decision making procedures

Rev 3/2000

## Numerical Design Objectives

*Reliability of the most important safety functions*

*P(failure/demand)*

*Reactor scram*  $< 1E-5$

*Feedwater supply*  $< 1E-4$

*Emergency core cooling,  
small break*  $< 1E-4$

*Containment isolation*  $< 1E-3$

Risk 3/2000

## Overall Risk Objectives

*Core damage probability*  $< 1E-5$  1/a

*Probability of large release*  $< 5E-7$  1/a

*Containment integrity to be maintained with  
high likelihood in both low and high  
pressure core damage.*

Risk 3/2000

## Risk Informed Decision Making

### *Probabilistic methods*

- *are used to form an overall picture of risks*
- *help to ensure adequate safety*
- *complement deterministic methods*
- *support decision making*

Rev. 3/2000

## Use of PSA During Operation to Support Decision Making

- *plant changes and backfits*
- *training of plant personnel*
- *working out emergency operating procedures*
- *application of technical specifications*
- *directing in-service inspections and testing*
- *case by case assessment of component failures*
- *risk follow-up of licensee events*
- *preventive maintenance and surveillance programme planning*

Rev. 3/2000

## Use of PSA for Plant Modifications

***The licensee must provide STUK with the assessment of safety significance of the proposed modification***

- ***Risk assessment has to be submitted to STUK independent of the safety class of the systems***
- ***The candidate hardware or software changes have to be modelled in the PSA (if not already done)***

Rev 3/2000

## Assessment of Operational Events 1

- ***Systematic risk follow-up studies are made at STUK***
- ***All relevant events gathered from Licensee Event Reports are analysed with the STUK's living PSA-code***
  - ***Three risk follow-up studies for Olkiluoto units 1 and 2 in 1994 and 1998***
  - ***Operating experience of these units during years 1986-1991 (OL 1), 1985-1994 (OL 2) and 1995-1998 (OL1 and 2)***

Rev 3/2000

## Assessment of Operational Events 2

*Contribution of operational events to the core damage probability is few per cents in both units*

- *Infrequent, significant precursors (LOCAs, transients, fires etc.) provide the main contribution to risk*
- *Contribution of safety related component failures and other operational events seems to remain small*

Risk 3/2009

## Risk Based Objective for Operational Events

*STUK's internal guideline for decision making:*

- the annual share of operational events is equal to or less than 5 % in the annual core damage probability
- covers component failures, preventive maintenance, exemptions from Tech Specs

Risk 3/2009

## Exemptions from Technical Specifications

*Some temporary exemptions from requirements of Tech Specs have been approved on the basis of risk evaluations*

- A licensee's application for a temporary exemption from Tech Specs must include an assessment of the safety significance of the exemption with PSA
- Deterministic and probabilistic reviews are used as complementary methods for evaluating the application

Risk 3/2000

## Limitations of PSA Application 1

- *Uncertainty of input reliability data*
- *Incompleteness of models*
  - *all systems not modelled*
  - *possible modelling errors*

Risk 3/2000



## **Limitations of PSA Application 2**

- ***Usually limitations in scope***
  - ***internal events, fires, floods, seismic events, harsh weather***
  - ***power operation and shutdown states***
- ***Varying degree of conservatism for different initiating events***

# Criteria for Risk - Repositories for Nuclear Waste

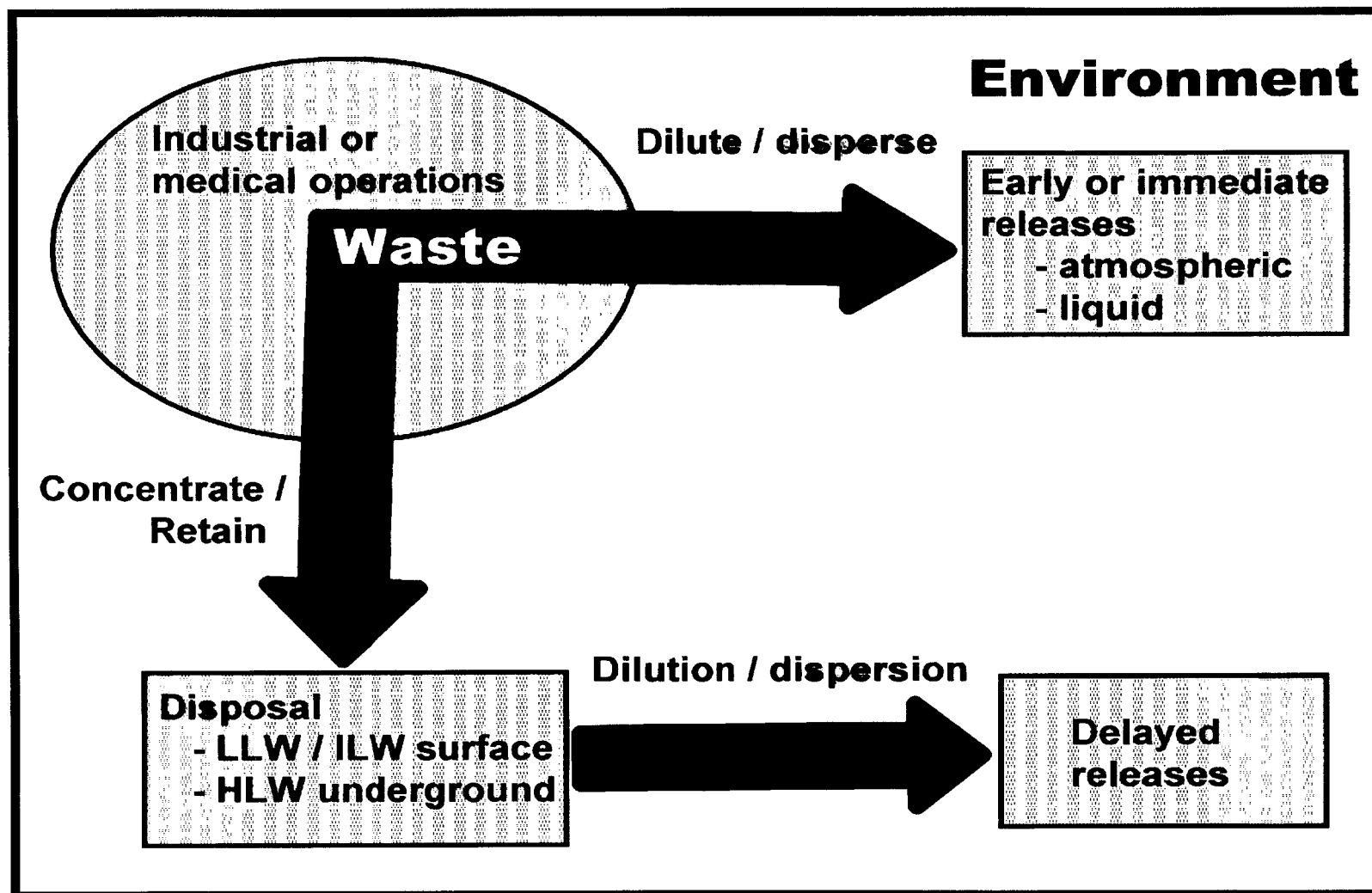
*Carl-Magnus Larsson, SSI*

- Regulator's view
- The regulator's environment
- Criteria, standards, compliance
- SSI FS 1998:1 and ICRP
- Application of SSI FS 1998:1



*Statens strålskyddsinstitut*  
Swedish Radiation Protection Institute

# ICRP 81



# The regulator's environment

- **Siting** SKB has announced that two (or more) sites will be selected for investigations by the turn of the year 2000/2001
- **RD&D** A complementary RD&D programme will highlight
  - experience from feasibility studies
  - expanded system analysis
  - site investigation programme
- **SR 97** Joint review (SSI/SKI) and external review (NEA) of SKB's safety report ongoing

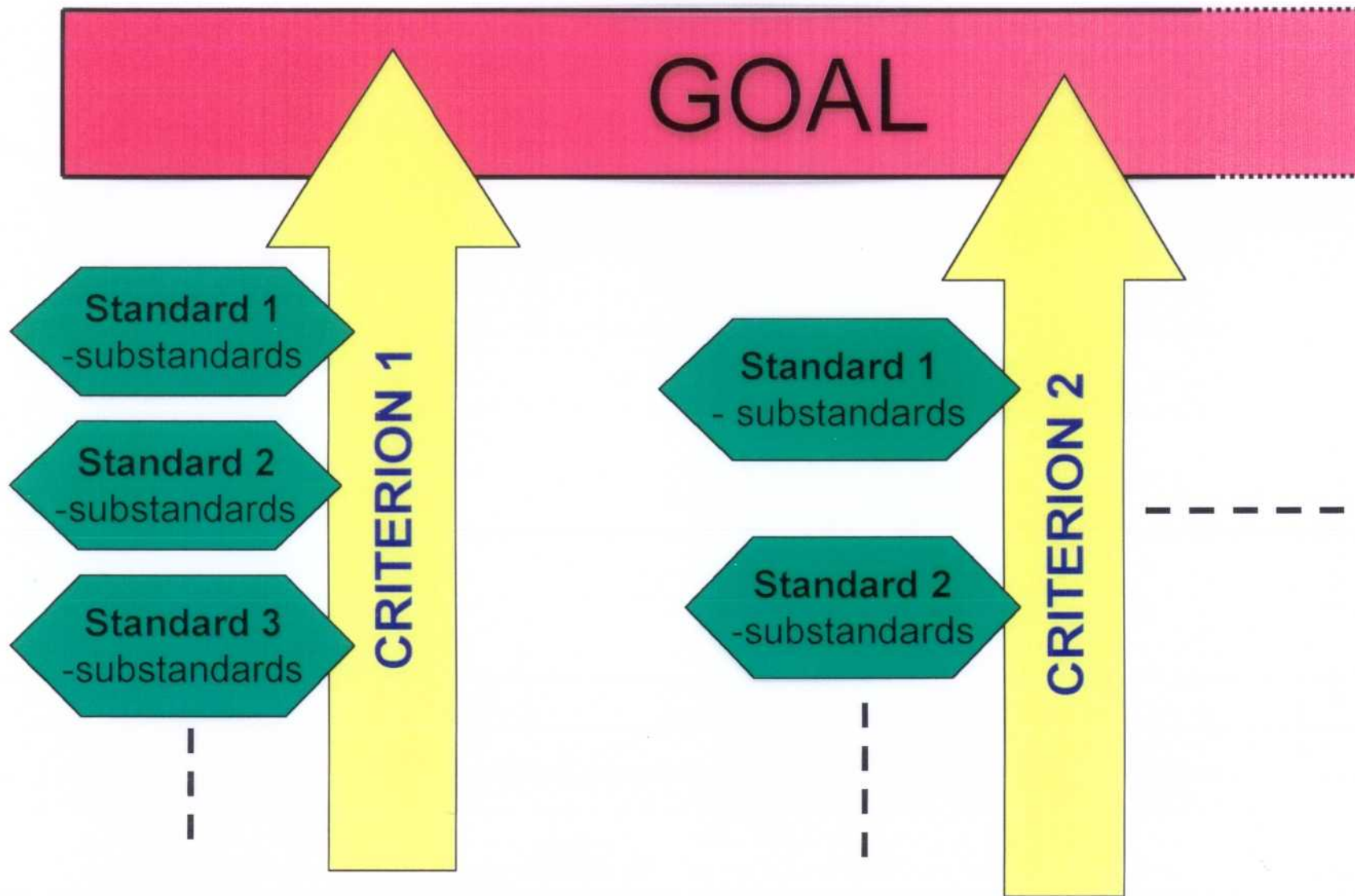




Proceedings of the International Symposium  
on Radioactive Waste Disposal:

# Health and Environmental Criteria and Standards

August 31 - September 4, 1998, Stockholm, Sweden



# Standards

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1. <b>Pathway-based</b>            | dose standards,<br>nuclide concentrations                |
| 2. <b>Process standards</b>        | based on e.g. best<br>available technique                |
| 3. <b>Management<br/>standards</b> | e.g. <i>EMAS</i><br>(Eco-Management<br>and Audit Scheme) |



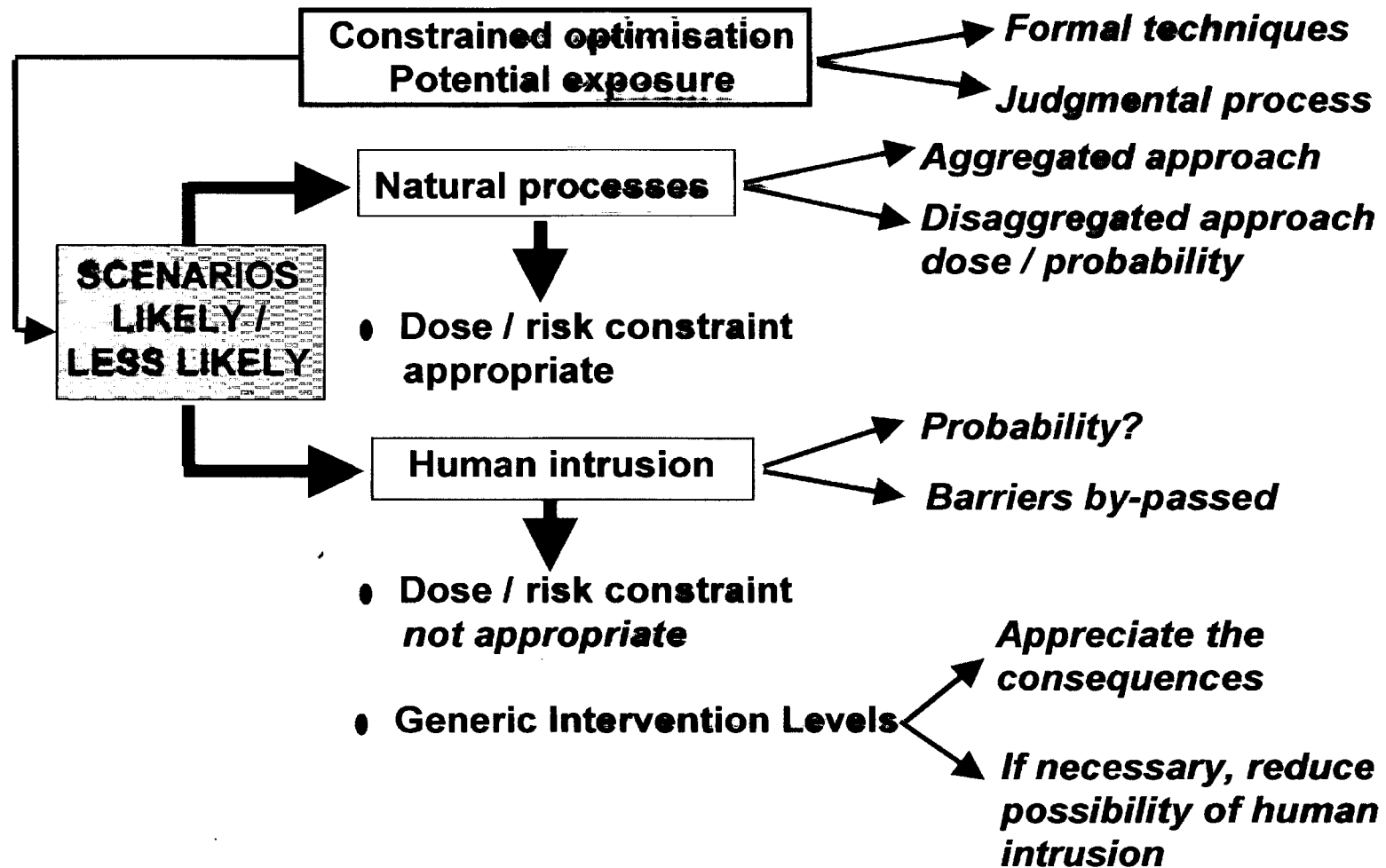


Category	Regulation	ICRP
	<b>SSI FS 1998:1</b>	<b>Recommendations</b>
Pathway-based	Annual risk $10^{-6}$ (total detriment)  Protection of biodiversity and biological resources	Upper dose constraint 0.3 mSv or $10^{-5}$ annual risk
Procedure	Optimisation  BAT Collective dose (with restrictions)	Optimisation  BAT-NEC Collective dose (with restrictions)
Managerial	—	Good managerial solutions





# ICRP 81



- **Aggregated approach**

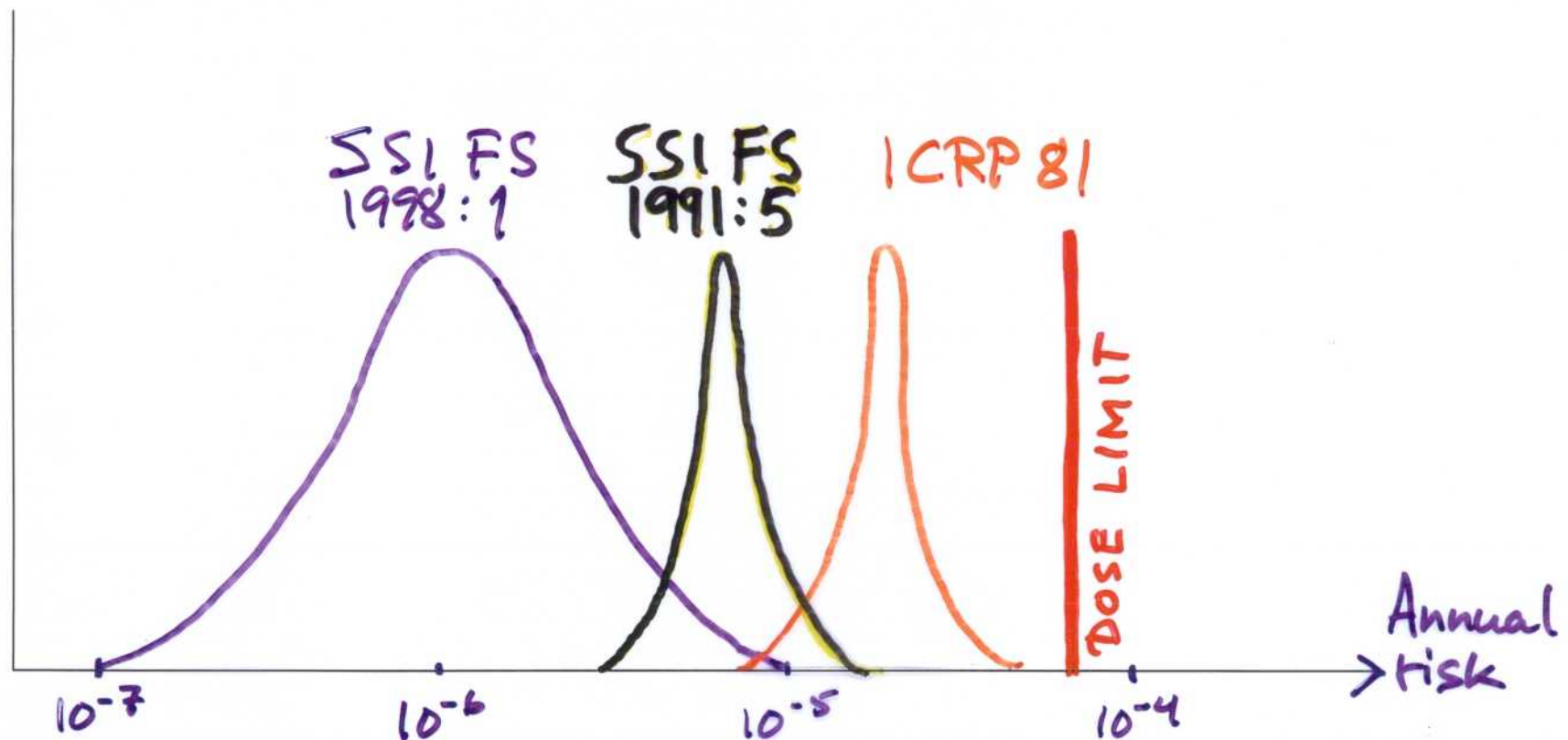
Summed risk (probability x consequence)  
for all scenarios

- **Disaggregated approach**

Treat scenario probability and dose  
separately



# Application of risk standards



Statens strålskyddsinstitut  
Swedish Radiation Protection Institute

# The Seveso directive

Kurt Lauridsen  
Forskningscenter Risø  
DK-4000 Roskilde

## Outline of the historical background

- The Seveso accident in 1976 (and Flixborough in 1974)
- *Council Directive 82/501/EEC on the major-accident hazards of certain industrial activities* – the Seveso Directive
- The Bhopal accident in 1982
- Amendments to the Seveso Directive in 1987 and 1988
- Review of the scope of the Seveso Directive resulted in a rewritten directive in 1996, the Seveso II Directive. Became mandatory in member states from 3 February 1999.

## Aim of the Seveso II directive

- the *prevention* of major-accident hazards involving dangerous substances
- the *limitation of the consequences* of such accidents
  - for man (*safety and health aspects*)
  - for the environment
- The Seveso directive does not set up acceptance criteria for risk - these are national responsibilities

## Scope of the Seveso II directive

- the *presence* of dangerous substances in establishments, comprising
  - *industrial "activities"*
  - *storage* of dangerous chemicals

### Excluded from the scope (among others):

- *nuclear safety*
- *the transport of dangerous substances*
- *intermediate temporary storage outside establishments*
- *the transport of dangerous substances by pipelines*

## Which establishments are covered?

- Companies who hold a quantity of dangerous substance, above the lower threshold specified in the Directive, will be covered by the *lower tier* requirements
- Companies who hold quantities of dangerous substance above the upper threshold specified in the Directive (*upper tier establishments*), will be covered by all the requirements contained within the Directive



# Examples of qualifying quantities for specific substances

Dangerous substances	Qualifying quantity (tonnes) for the application of	
	Articles 6 and 7	Article 9
Bromine	20	100
Chlorine	10	25
Fluorine	10	20
Formaldehyde (concentration $\geq 90$ %)	5	50
Hydrogen	5	50
Methanol	500	5000
Oxygen	200	2000
Automotive petrol and other petroleum spirits	5000	50000

# Examples of qualifying quantities for categories of non-specific substances

Categories of dangerous substances	Qualifying quantity (tonnes) of dangerous substances as delivered in Article 3 (4), for the application of	
	Articles 6 and 7	Article 9
1. VERY TOXIC	5	20
2. TOXIC	50	200
3. OXIDIZING	50	200
4. EXPLOSIVE	50	200
6. FLAMMABLE	5000	50000
9. DANGEROUS FOR THE ENVIRONMENT in combination with risk phrases:		
(i) R50: 'Very toxic to aquatic organisms'	200	500
(ii) R51: 'Toxic to aquatic organisms'; and R53: 'May cause long term adverse effects in the aquatic environment'	500	2000

## Some headlines from the Seveso II directive

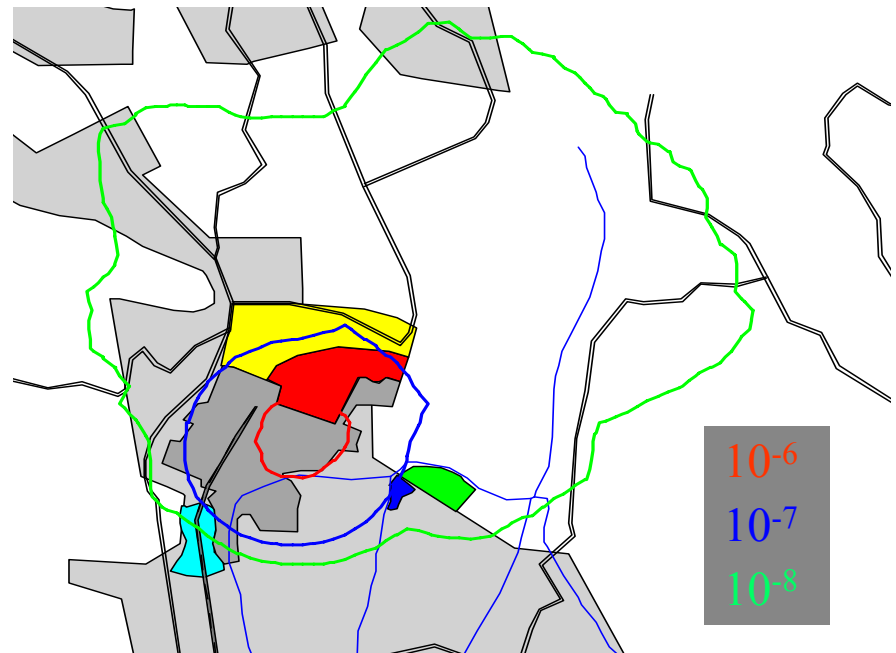
- Notification
- Major-accident prevention policy
- Domino effect
- Safety report
- Emergency plans
- Land-use planning
- Information from member states to the commission

# Approaches to risk analysis and - acceptance

- Consequence based approach
  - Definition of “worst case” or “reference scenario”. Safety distance for this case gives the safety distance for the plant.
- Risk based approach
  - Analysis of all relevant accident scenarios with respect to consequences and probability leads to *Individual Risk* or *Societal Risk* to be compared with acceptance criteria.

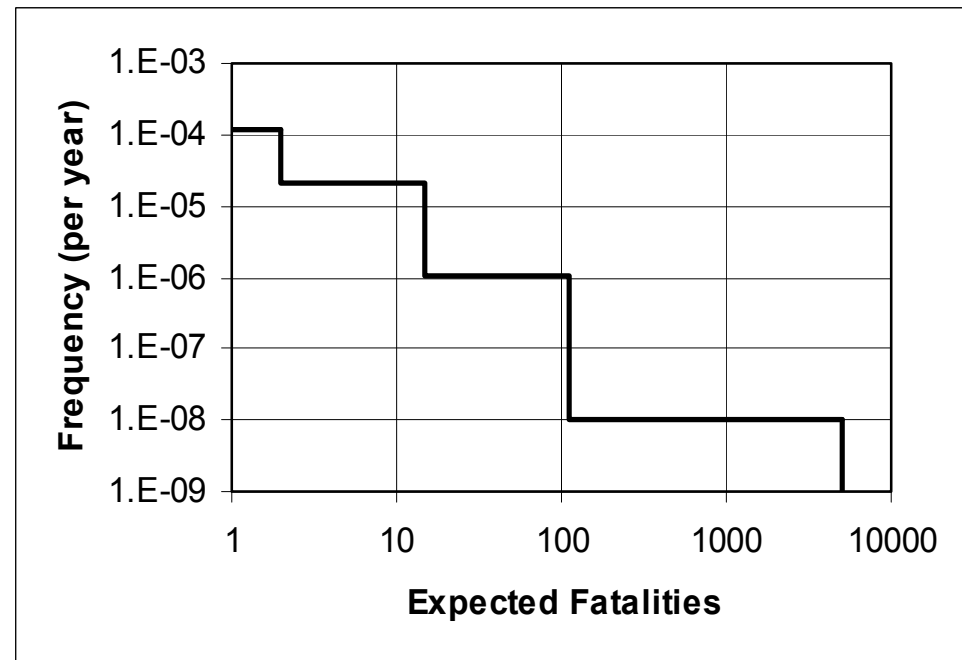
# Individual Risk

- Individual fatality risk: probability that a person be killed at position (x,y)
- Presented by Risk Curves



# Societal Risk

- Risk of a group of people to be killed at the same time
- Presented by F-N-curves: the cumulative probability of an accident killing more than N people at a time



The Seveso  
directive

## The handling of risk in Europe

- "Generic distances" based on environmental effects (noise, smell etc.)
- Consequence based ("deterministic")  
Safety distances based on the extent of consequences of "worst case" or "reference" scenarios
- Risk based ("probabilistic")  
Quantitative risk analysis, comprising analysis of probabilities and consequences of all relevant scenarios, resulting in figures for individual risk and societal risk which are compared to acceptance criteria

# Types of criteria applied in European countries

(EEA 1999, JRC/MHAB 1996)

	Austria	Belgium	Denmark	Finland	France	Germany	Greece	Ireland	Italy	Luxembourg	The Netherlands	Portugal	Spain	Sweden	United Kingdom
Arrangements still being developed															
Land-use planning criteria															
Consequence-oriented approach															
Risk-oriented approach															

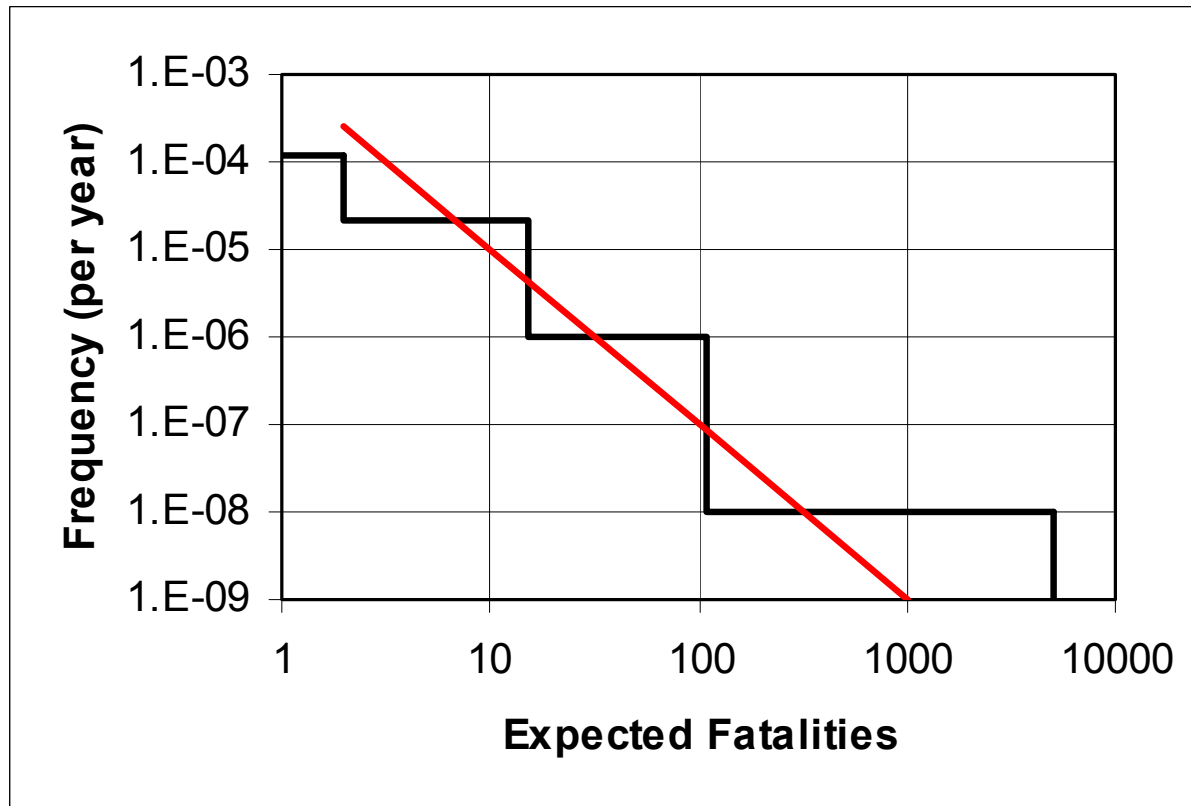
The Seveso directive



## Acceptance criteria

- For a consequence-oriented approach:
  - Upper probability limit for scenarios, which do not result in significant consequences, typically between  $10^{-7}$  and  $10^{-9}$  per year
  - Requirements for a number of barriers, depending on probability and consequence
- For a risk-oriented approach:
  - Individual fatality risk between  $10^{-5}$  and  $10^{-6}$  per year
  - Criterion for societal risk, e.g.  $F < 10^{-3}/N^2$  (the Netherlands)

# Dutch criteria for societal risk



The Seveso  
directive

Slide nr. 15

# UK criteria for land use planning

<i>Category of development</i>	<i>Inner zone Individual risk exceeds <math>10^{-5}</math></i>	<i>Middle zone Individual risk exceeds <math>10^{-6}</math></i>	<i>Outer zone Individual risk exceeds <math>0.3 \times 10^{-6}</math></i>
<b>A.</b> Housing, hotel, holiday accommodation	Advice against development	Specific assessment necessary	Allow development
<b>B.</b> Workplaces, Parking areas	Allow development	Allow development	Allow development
<b>C.</b> Retail outlets, community and leisure facilities	Specific assessment necessary	Specific assessment necessary	Allow development
<b>D.</b> Institutional establishments and special accommodation	Advice against development	Specific assessment necessary	Specific assessment necessary

The Seveso directive

## What's the difference?

- Kirchsteiger (1999) concludes:

*"... there is neither a strictly deterministic nor a strictly probabilistic approach to risk analysis. Each probabilistic approach to risk analysis involves deterministic arguments, each deterministic approach includes quantitative arguments which decide how the likelihood of events is going to be addressed."*

## Some references

- Kirchsteiger, C., Christou, M. D. and Papadakis, G.A. (1998). *Risk assessment and Management in the Context of the Seveso II Directive*. ELSEVIER, Industrial Safety Series, Amsterdam, 537 pp.
- Papadakis, G.A.; Amendola, A. (editors) (1997). *Guidance on the preparation of a safety report to meet the requirements of council directive 96/82/EC (Seveso II)*. Joint Research Centre, European Commission. EUR 17690 EN. 66 pp.

## Some references cont.

- Kirchsteiger, Christian. *The use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 12 (1999) 399-419.

**<http://mahbsrv.jrc.it>**

The site for information on the Seveso directive

# SVÅRA BESLUT I SAMHÄLLET

Björn Wahlström  
VTT Automation  
PB 1301  
FIN-02044 VTT (Esbo)  
Finland

## 1 INLEDNING

I en diskussion om risker ställer man sig ofta frågan vad som är tillräckligt säkert. När man ser på beslut som görs i samhället, kan man se att det finns risker som är accepterade och risker som man försöker göra någonting åt. Svårigheten är dock att hitta kriterier för när en risk bör åtgärdas och vilka åtgärder som då kan anses rimliga. I beslut om risker visar det sig ofta att de inte är oberoende av varandra, utan en åtgärd för att minska en viss risk kan föra med sig att en annan risk ökar. Beslut om hur man skall hantera risker i samhället är av många orsaker svåra.

Olika metoder har utvecklats för att göra det lättare att ta ställning till svåra beslut. Bland dem har risk- och säkerhetsanalys fått en etablerad position. Det har dock visat sig svårt att förmedla riskanalysens antaganden och tänkesätt till beslutsfattare och lekmän. Ett sätt att hjälpa till med att skapa en förståelse kunde vara att mera i detalj visa på vad som karakteriserar beslut och förklara varför det ibland kan vara mycket svårt att göra bra beslut.

Beslut i samhället förutsätter att man är rimligt enig om vilka principer som skall tillämpas. Detta betyder också att man kan förmedla antaganden och uppfattningar, som ofta förblir underförstådda om de inte lyfts upp och förklaras. Svåra beslut för ofta med sig menings-skiljaktigheter, som endast kan förstås utgående från de förhållanden som gör dem svåra. Här har valts en beslutsanalytisk ram, som utgår från att beslutsfattare optimerar förväntad nytta. Många med en beteendevetenskaplig bakgrund har visserligen påtalat brister i en sådan modell, men ramen ger ett utrymme som täcker in de flesta beslut.

## 2 OLIKA BESLUTSSITUATIONER

När man ser på beslutsfattande kan man skilja mellan två typer av beslut. För de flesta vardagliga situationer spelar beslutet inte så stor roll och man gör sådana beslut utan att egentligen tänka efter. Inför viktiga beslut som kan ha mycket långt gående konsekvenser brukar man däremot ta tid för att samla ett tillräckligt underlag för beslutet. Vissa beslut måste göras under tidspress och då har beslutsfattaren ofta inte möjlighet att få fram ett bra beslutsunderlag. Man brukar ofta skilja på ett tidsperspektiv i beslut så att man talar om operativa, taktiska och strategiska beslut. Ett beslut är också vilken uppmärksamhet man skall sätta på beslutet.

Varje beslut består egentligen av flera delar som var för sig kan tolkas som separata beslut. Allra först måste man observera behovet av ett beslut och bestämma sig för att göra något åt det. Därefter kan man samla ett beslutsunderlag och sedan söka olika beslutsalternativ. En viktig del i varje beslut är att försöka reda ut vad de olika beslutsalternativen kan väntas leda till och hur attraktiva olika utfall är. Till sist skall beslutet implementeras och följas upp.



Ett beslut består av fyra komponenter, beslutssituationen i sig själv, ett antal beslutsalternativ, ett sätt att prediktera vad dessa alternativ kommer att leda till och några värdefunktioner som ger beslutsfattarens bedömning av hur attraktiva olika utfall är. När man väljer ett beslutsalternativ framom andra, kan man använda sig av olika beslutsprinciper. Man kan t.ex. anse att endast det bästa är gott nog, andra gånger vill man få så mycket som möjligt för de resurser man sätter in och ibland är man nöjd med att något är tillräckligt bra. Man ger viktiga beslut en större uppmärksamhet än mindre viktiga och man försöker ofta dela upp besluten i delar för att göra dem lättare att hantera.

### **3 MÄNSKLIGT BESLUTSFATTANDE**

Beslutsanalys har använts både för att försöka förstå hur människor gör beslut och för att ge dem hjälpmedel för att göra besluten bättre. När man studerar hur människor gör beslut, kan man se skillnaden mellan snabba nästan reflexmässiga beslut och beslut som görs mera långsamt i en medveten tankeprocess. Det finns vissa beslutssituationer, som det har visat sig att människor har svårt att hantera. Ett sådant är att göra balanserade beslut när man har att göra med stora kostnader och små sannolikheter.

Ett problem är att man för det mesta endast i efterhand, och kanske inte ens då, kan säga om ett beslut var riktigt eller inte. Vissa beslut kan dock klassificeras som felaktiga redan på förhand, t.ex. om beslutsfattaren inte använder tillgänglig information eller det finns fel i beslutsunderlaget. I praktiken får man alltid lov att balansera beslutets kvalitet mot den insats som krävs för att kvalitetssäkra beslutet. I en analys av beslut kan man ibland se brister som borde ha varit uppenbara i beslutssituationen.

Beslutssituationer involverar olika intressegrupper och man måste då i beslutet ta hänsyn till hur andra inblandade kommer att reagera. Sådana beslutssituationer har teoretiskt beskrivits i spelteori och man brukar skilja mellan nollsummespel och icke nollsummespel. Icke nollsummespel som spelas flera gånger mellan i stort sett samma deltagare har visat intressanta resultat som visar på hur samarbete uppstår. Spelsituationer är i praktiken alltid mycket mera komplicerade än de enkla spel man har analyserat.

### **4 KOMPONENTERNA I ETT BESLUT**

En viktig del av varje beslutssituation är den omvärldsmodell som används för att förutsäga vad olika beslutsalternativen kan väntas leda till. Omvärldsmodellen kan vara mer eller mindre formaliserad och den förmedlar också en uppfattning om vilka faktorer man behöver ta hänsyn till i beslutet. Ibland kan man med en relativt god noggrannhet säga vad de olika beslutsalternativen kommer att leda till, men för det mesta är osäkerheten i alla förutsägelser mycket stor.

En stor del av osäkerheten i omvärldsmodellen hänger ihop med att man sällan vet vad som påverkar vad och hur stark en påverkan är. Det är också opraktiskt att i en omvärldsmodell försöka beakta allt som kan påverka utfallet av ett beslut. Man får ta hänsyn till att sannolikhetsfördelningar i systemens tillstånd, i yttre påverkan och i systemparametrar kommer att leda till motsvarande sannolikhetsfördelningar i utfallet. Komplexiteten i systemen som kommer av att systemen innehåller många komponenter och olineariteter, gör också att det är mycket svårt att göra prediktioner som går långt in i framtiden.

Värdefunktionerna förmedlar beslutsfattarens preferens för möjliga utfall. Värden kan ofta delas upp i kostnader och nytta, vilket då betyder att man försöker erhålla en stor nytta med så små kostnader som möjligt. När en beslutsfattare jämför kostnader och nytta är det många olika faktorer som han måste ta hänsyn till. För det första kan det vara svårt att väga samman

mycket olika värden såsom t.ex. hälsa, miljö och pengar. För det andra måste man beakta att kostnad och nytta kan drabba intressenter olika. För det tredje måste man beakta att kostnader och nytta kan uppträda vid olika tidpunkter. En svårighet med värden är att de förändras över tid.

## **5 EN PRAKTISK RATIONALITET**

En beslutsanalytisk modell av en beslutssituation är vanligtvis mycket idealiserad. För att kunna beskriva hur beslut görs i verkligheten måste man förstå hur de olika komponenterna i ett beslut påverkas av olika faktorer. Omvärldsmodellen är sällan en exakt beräkningsmodell, utan snarare en svårgripbar kombination av föreställningar och uppfattningar, som inte ens behöver vara särskilt väl underbyggda. En viktig komponent är också hur beslutsfattaren uppfattar beslutssituationen och sin egen roll i beslutet.

Ett beslut kommer att innehålla två olika typer av rationalitet. En individuell rationalitet ser till de kostnader och den nytta, som beslutsfattarens själv kommer att få. En samhällsrationalitet ser på motsvarande sätt till samhällets kostnader och nytta. Den individuella rationaliteten och samhällsrationaliteten är kopplade till varandra genom att ett väl fungerande samhälle ger till sina medlemmar olika fördelar.

I ett samhällsperspektiv måste man alltid beakta den arbetsfördelning som man har mellan medlemmarna i samhället. Arbetsfördelningen har en samhällsrationalitet som hänger ihop med att en specialisering på olika uppgifter, som ger samhället en större effektivitet. Arbetsfördelningen för dock med sig att de inblandade måste koordinera sina insatser. Detta betyder också att det sällan är bara en person inblandad i viktiga beslut, utan istället flera grupperingar som var och en har sitt eget intresse i frågan.

## **6 EN BESLUTSPROCESS**

Samhällets beslut är ofta kopplade till varandra så att det kan ibland vara svårt att bilda sig en uppfattning om hur de hänger ihop. Om det går att dela upp ett stort beslut i mindre delar är fördelen att de enskilda besluten blir enklare, men delarna måste istället koordineras. Ibland visar det sig att man vill ändra ett tidigare beslut, men det blir ofta dyrt att rätta till ett felaktigt beslut i efterhand. När man delar upp ett beslut i flera mindre kan man dels försöka se till helheten i en uppifrån ner process eller till detaljerna i en nerifrån upp process. Optimalitetsprincipen som formulerades av Richard Bellman ger ett sätt att koordinera många små beslut, men i praktiken visar det sig ofta att beslutsrummets dimensionalitet gör metoden ohanterbar.

Varje beslutsprocess kräver kommunikation mellan intressenterna. Den som startar en kommunikationsprocess har vanligen en avsikt med sina meddelanden. En kommunikationsprocess bygger på föreställningar och uppfattningar både hos den som sänder ett meddelande och den som tar emot det. Om inte föreställningar och uppfattningar är rimligt koordinerade finns det en stor risk för att meddelanden uppfattas felaktigt av mottagaren.

Eftersom alla beslut baserar sig på ett underlag som innehåller många osäkerhetsmoment, brukar man förutsätta att man i beslutet beaktar olika försiktighetsprinciper. Ett ofta framfört krav är att beslut är robusta, vilket betyder att beslutet är okänsligt för osäkerheter i beslutsunderlaget. En viktig försiktighetsprincip är att hålla sig innanför områden där man inte behöver vara rädd för att stora oåterkalleliga förändringar kommer att ske i systemen.

Det finns några teoretiska resultat som har en viktig tillämpning inom beslutsanalys. Nobelpristagarens Kenneth Arrows teorem säger att det inte finns något sätt att kombinera olika individers värdefunktioner till en gemensam värdefunktion, så att denna uppfyller rimliga

krav på att kunna vara omfattad. Ett annan insikt är kopplad till matematikern Kurt Gödels teorem. Teoremet kan tolkas så att ett axiomatiskt system alltid kommer att innehålla obevisbara satser, vilket betyder att det alltid kommer att finnas beslutsproblem som inte är lösbara inom en given ram.

## **7 NÅGRA EXEMPEL**

Ett av de stora besluten, som samhället av idag är ställt inför är hur man skall förhålla sig till risken för en global klimatförändring som följer av användningen av fossila bränslen. Alla försiktighetsprinciper talar för att man borde göra ganska radikala åtgärder, men det är svårt att hitta en global samstämmighet om vilka åtgärder som är nödvändiga. Man kan förstå djupet av dilemmat genom att Kyoto avtalet, som redan det har svårigheter att få en acceptans, inte kan ses som mera än ett första steg för en global åtgärds politik.

Ett annat exempel på svåra beslut i samhället är hur man skall samla in medel för att bekosta sjukvård. För att göra sjukvården effektiv borde den skötas i specialiserade enheter. Enheterna kan finansieras med skattemedel eller med avgifter av dem som använder tjänsterna. Man kan också fråga sig hur man borde allokera medel mellan förebyggande och avhjälpande sjukvård. Skall man sedan satsa mera på de unga än på de gamla och vad blir då en rimlig fördelning.

Kärnkraften representerar ett annat av de svåra besluten i samhället. Det finns många argument för att man inte borde utesluta kärnkraften ur en framtida energipolitik, men samtidigt är det många som av olika skäl anser att kärnkraft inte är ett accepterbart alternativ för en framtida energiproduktion. Oberoende av ideologiska förankringar, borde man dock kunna enas om att de anläggningar som har byggts skall kunna användas så länge de är säkra och det är ekonomiskt motiverat att driva dem.

## **8 HUR KAN MAN FÖRBÄTTRA SINA BESLUTSPROCESSER**

Det finns många krav man kan ställa en beslutsprocess. Ett rimligt krav är att man på förhand beskriver den beslutsprocess man ämnar följa i en fråga. En sådan beskrivning gör det möjligt för intressegrupper att förbereda sina argument. I ett beslutsunderlag är det fördelaktigt om man kan skilja mellan sakskalet och värderingar. Då intressenterna har mycket olika uppfattning, är det skäl att vårda om en transparens i argumenteringar. Till sist förutsätter en framgångsrik beslutsprocess att det slutliga beslutet kan omfattas av de inblandade.

I en beslutsprocess händer det ofta att intressenter talar förbi varandra. Först och främst sker detta för att beslutssituationen uppfattas olika och för att man har olika uppfattningar om vilka alternativ som föreligger. Det är också vanligt att man har stora skillnader i uppfattningarna om vad de olika besluten kommer att leda till. Ibland kan möjligheten att få kompensation för någon olägenhet leda till en spelsituation där eget intresse blir viktigare än helheten. Allra svårast blir det dock om de inblandade inte har förtroende för varandra och misstänker dolda motiv bakom alla förslag och uttalanden.

För att göra en beslutsprocess effektiv behövs både förståelse och öppenhet. Det moderna har samhället blivit så komplicerat att man måste vara mycket påläst för att förstå de tekniska resonemang som förs av experter. Kravet på transparens i argumenteringar förutsätter att också experter kan förklara sig när det gäller viktiga antaganden och samband. Här kunde det hjälpa med en insats för att göra beslutsanalysens centrala principer mera tillgängliga.

## 9 SLUTSATSER

En praktisk rationalitet är betydligt mera komplicerad än vad tekniker vanligen föreställer sig. En formell beslutsmodell kan här hjälpa till med att identifiera viktiga komponenter i beslutsprocessen för att förstå olika argument och till slut nå enighet om ett svårt beslut.

En beslutsprocess måste upplevas som ändamålsenlig och rättvis för att intressenterna skall ha förtroende för den och kunna engagera sig. Om de inblandade först kan komma överens om hur beslutsprocessen skall se ut, är det ofta lättare att bygga upp det förtroende som behövs.

Det är vanskligt att ge riktlinjer för hur en beslutsprocess skall byggas upp, men de politiska förhandlingsprocesser vi är vana vid, är trots allt inte så dåliga. Den debatt som förs kan ses som en rationell komponent, där man försäkrar sig om att alla inblandade blir hörda, alla alternativ diskuterade och alla värdefunktionerna framförda. Det kan visserligen tyckas att man här slösar onödigt med tid och resurser, men ett beslut som inte är omfattat kan bli mycket problematiskt. För att man skall kunna göra de svåra beslut som behövs i ett modernt samhälle, måste man kunna räkna med ett stort mått av god vilja av alla inblandade.

## SVÅRA BESLUT I SAMHÄLLET

Björn Wahlström  
VTT Automation  
PB 1301  
FIN-02044 VTT (Esbo)

- Vad är tillräckligt säkert?
- Vilka risker kan man acceptera?
- Vilka risker måste man göra något åt?
- Vad är en rimlig åtgärd i förhållande till en risk?
- Hur kan man hitta en rimlig balans mellan olika risker?
- Hur kan man stöda samhällets beslut om risker?
- Hur kan man göra det lättare att enas om svåra beslut?

NKS/SOS-1, Säkerhetsanalys, Risø 22-23.3.2000

B.Wahlström, 1

## OLIKA BESLUTSSITUATIONER

- vardagliga beslut
- viktiga beslut
- beslut under tidspress
- operativa, taktiska och strategiska beslut
- evolutionära eller revolutionära beslut
- beslut som berör många

Hur stor uppmärksamhet skall man sätta på ett beslut?

NKS/SOS-1, Säkerhetsanalys, Risø 22-23.3.2000

B.Wahlström, 2

## BESLUT I SAMMANHANG

- observera behovet av ett beslut
- samla ett beslutsunderlag
- generera beslutsalternativ
- prediktera konsekvenserna
- värdera utfallet
- besluta, implementera
- följa upp beslutet

NKS/SOS-1, Säkerhetsanalys, Risø 22-23.3.2000

B.Wahlström, 3

## BESLUT OCH HUR MAN BESLUTER

- komponenter i ett beslut
  - en beslutssituation
  - olika beslutsalternativ
  - en omvärldsmodell
  - några värdefunktioner
- beslutsprinciper
  - det bästa
  - så bra som möjligt
  - tillräckligt bra
- några enkla beslutsregler
  - beslut får en uppmärksamhet som beror på hur viktiga de är
  - beslut delas upp i komponenter som hanteras var för sig

NKS/SOS-1, Säkerhetsanalys, Risø 22-23.3.2000

B.Wahlström, 4

## MÄNSKLIGT BESLUTSFATTANDE

- välj först, fundera sedan
- fundera först, välj sedan
- prioriteringar sker intuitivt och snabbt
- olika tidsperspektiv är förhållandevis lätta att förstå
- det är svårt att ta hänsyn till många variabler på en gång
- människor har svårt att hantera små sannolikheter
- människor har svårt att hantera stora kostnader
- människor reagerar på en situation som de uppfattar den och inte som den är

## FELAKTIGA BESLUT

- kan identifieras endast i efterhand
- när är ett beslut felaktigt på förhand
  - beslutsfattaren har inte kapacitet för situationen
  - personliga intressen tillåts påverka beslutet
  - viktiga hänsyn beaktas inte
  - beslutsalternativ beaktas inte
  - det finns fel i beslutsunderlaget
  - man använder sig av felaktiga omvärldsmodeller
  - man har inte tolkat intressenternas värdefunktioner rätt
  - beslutet är inte robust inför osäkerhet
  - man har inte beaktat försiktighetsprinciper

## SPELSITUATIONER

- spel mot naturen
- nollsummespel, icke nollsummespel
- man spelar flera gånger, strategiskt handlande
- man spelar mot samma spelare, nya spelare kommer in
- avslöja eller inte avslöja egna preferenser
- olika starka spelare (informationsövertag, resurser)
- utvidgning av spelet (användning av makt, kohandel)
- koalitioner (två slår den tredje)
- hålla sig till spelets regler eller inte

## EN OMVÄRLDSMODELL

- om man gör A så händer B
- uppdelning mellan system och omgivning
- hur kan man påverka systemet
- i vilket tillstånd befinner sig systemet
- hur kommer systemet att reagera
- modeller på olika nivåer (mikro, makro)
- deterministiska och stokastiska modeller
- systemen ändrar sig över tid

## OSÄKERHETER I OMVÄRLDSMODELLEN

- struktur och parametrar
  - vad påverkar vad och hur mycket
- sannolikhetsfördelningar
  - vi kan inte bestämma tillstånden exakt
  - vi känner inte systemparametrarna exakt
  - omgivningen påverkar utfallet på ett oförutsägbart sätt
- komplexiteten i systemen
  - antal komponenter, olineariteter, bifurkationer, kaos, fraktaler
  - Ashby, requisite variety, styrningen lika komplex som systemet

## VÄRDEFUNKTIONER

- kostnad och nytta
- olika värden (hälsa, välbefinnande, uppskattning, livskvalitet)
- hur kan man väga samman olika värden
- kostnader och nytta vid olika tidpunkter (diskontering)
- kostnad och nytta för olika grupper (kompensation)
- värdefunktionernas form
- positiva och negativa värden (vinst, förlust)
- värden är inte konstanta (personer, plats, tid, tillstånd)

## FÖRESTÄLLNINGAR, UPPFATTNINGAR

- hur uppfattar man beslutssituationen
- hur uppfattar man sig själv (mål, roller, kontaktgrupper)
- hur ser man på andra spelare i situationen
- hur tror man att omvärlden kommer att reagera
- egna och andras uppfattningar om vad som är rätt och fel
- hur kommer ett beslut uppfattas av andra
- kognitiv dissonans, iakttagelser som inte stämmer överens med ens uppfattningar

## OM RATIONALITET

- individuell rationalitet
  - hur man använder uppmärksamhet, tid och resurser
  - makt, ett medel för att nå mål
  - behovshierarkier (Maslow)
- samhällsrationalitet
  - tjänster och gentjänster
  - gemensam egendom, allokering av resurser
  - avtal mellan individ och samhället
  - praxis, normer, etik

## VEM ÄR INTRESSERAD AV EN FRÅGA

- man är personligt berörd
- forskare (intressanta problem)
- ensaksrörelser (uppmärksamhet)
- politiker (omval)
- medborgarrörelse (uppskattning)
- industrin (pengar)
- myndigheterna (berättigande)

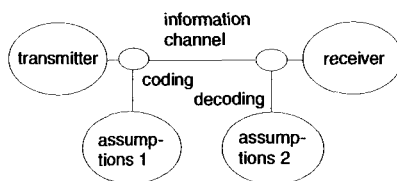
Två dilemman, vem kan man lita på, vem ser till helheten

## ETT BESLUT ELLER EN SERIE AV BESLUT

- uppdelning av ett beslut i delar gör det lättare att behärska komplexiteten i systemen
- om man fixerar en komponent av ett beslut för tidigt, får man vanligtvis sämre helhetsbeslut
- kostnaderna för att ändra ett dåligt beslut växer med tiden som det förblir oupptäckt
- helheten, top-down, trade-off mellan olika mål
- detaljerna, bottom-up, beakta lokala förhållanden
- optimalitetsprincipen, dimensionernas förbannelse

## BESLUT FÖRUTSÄTTER KOMMUNIKATION

- behov för ett meddelande (varför, vad, hur)
- meddelandet kodas (modeller, föreställningar)
- meddelandet sänds (störningar på kanalen)
- meddelandet dekodas (modeller, föreställningar)
- meddelandet tolkas och påverkar mottagarens handlande



## FÖRSIKTIGHETSPRINCIPER

- man ser till att bärkraften för ett system inte överskrids
  - tillräckligt små ingrepp
  - ingrepp som är reversibla
  - ingrepp begränsas till ett område där konsekvenserna är linjära
- man håller ögonen öppna för nya oväntade mekanismer
- förebyggande åtgärder sätts in så tidigt som möjligt
- man försöker hålla olika möjligheter öppna
- man undviker överreaktion och håller kostnaderna rimliga
- en balans mellan små och stora ändringar i systemen



## NÅGRA TEOREM OM ICKE-EXISTENS

- Arrows teorem (hur väga samman värdefunktioner)
  - det finns inget sätt att sammanväga åsikter som uppfyller de rimliga krav man kan ställa på en sådan sammanvägning
  - man kan påverka resultatet genom att välja röstningsförfarandet
- Gödels teorem (vilka satser går att bevisa)
  - antingen finns det satser som inte går att bevisa, eller så kan man bevisa både en sats eller dess motsats
  - det finns problem som man inte kan behandla inom ramen för de antaganden och begränsningar man har ställt upp

## ETT EXEMPEL, CO<sub>2</sub> UTSLÄPP

- fossila bränslen, nytta idag, kostnader i morgon
- stora osäkerheter i modeller och data
- Kyoto protokollet, ett internationellt avtal med åligganden
- beslut uppifrån ner, vart vill man komma, kvoter
- åtgärder nerifrån upp, vad kan man göra, hur påverkar det
- balansera olika åtgärder, göra det lika obekvämt för alla
- iland och uland, vad är rätt och vad är fel
- behöver man överhuvudtaget göra något

## ETT EXEMPEL, SJUKVÅRDSKOSTNADER

- hur samla in medel för att bekosta sjukvård
- individuell eller samhällsfinansiering
- hur skall insamlade medel allokeras
- förebyggande och avhjälpande sjukvårdskostnader
- vad är man villig att betala för ett statistiskt livsår
- exemplet med konstgjorda njurar i Tjetjenien
- lös problemen i viktighetsordning (vem definierar)

## ETT EXEMPEL, KÄRNKRAFTEN

- *alternativ*, förnybara energikällor, energibesparingar, kärnkraften som en fortsatt möjlighet
- *avfall*, ett problem med 10000 års perspektiv, CO<sub>2</sub> ett problem med 50 års perspektiv
- *vapentechnologi*, andra vapen (BC) är farligare, risken är större för krig och terrorism om man inte använder kärnkraft än om man gör det
- *olyckor*, sannolikheten kan göras tillräckligt liten, om sannolikheten är tillräckligt liten är kostnaderna små

## KRAV PÅ EN BESLUTSPROCESS

- processen beskrivs på förhand, man besluter om processen
- man undviker en personifiering av ståndpunkter
- rimliga hänsyn tas till alla argument som förs fram
- man skiljer på sakskäl och värderingar
- den argumentering som förs är transparent
- processen är rättvis gentemot alla intressegrupper
- man handlar enligt samhällets normer och etiska regler
- beslutet är konsekvent (tidigare och kommande beslut)
- det beslut som görs kan omfattas av alla inblandade

## VARFÖR MAN TALAR FÖRBI VARANDRA

- beslutsituationen uppfattas olika
- man har olika uppfattningar om beslutsalternativen
- man har olika uppfattning om hur världen beter sig
- man värdesätter utfallen olika
- man använder olika diskonteringsräntor
- man tycker att erbjuden kompensation är för stor/liten
- man litar inte på varandra
- man har mycket olika grundföreställningar

## VAD BORDE MAN FÖRMEDLA

- förståelse för den vetenskapliga metoden
- användningen av modeller (möjligheter, begränsningar)
- konvertering av värden till en gemensam värdemätare
- tolkningen av risker som kostnad gånger sannolikhet
- varför man behöver kvantitativa modeller
- varför modeller aldrig kan bli perfekta
- det är mycket svårt att bevisa att något inte finns
- man kan acceptera en restrisk

## SLUTSATSER

- en praktisk rationalitet är mera komplicerad än de flesta tekniker föreställer sig
- en formell beslutsmodell kan hjälpa till när man identifierar viktiga komponenter i en beslutsprocess
- man kan göra det lättare för de inblandade genom att komma överens om en beslutsprocess
- ett beslut som har gjorts måste kunna omfattas
- de politiska förhandlingsprocesser vi är vana vid är, trots den kritik de ofta får, inte så dåliga
- man måste kunna räkna med god vilja hos alla inblandade

## Uncertainties in reactor safety analyses

- Uncertainties in safety analyses
- Probabilistic safety assessment = uncertainty model
- Analyses of physical phenomena, their uncertainties
- Presentation based on on-going studies in NKS/SOS-2 project "Reactor safety"

## SOS-2 Reactor safety Uncertainty in safety analyses (SOS-2.1 task 1)

### Aims:

- Classification and characterisation of uncertain issues related to NPP risks
- Critical evaluation of usefulness and value of information from uncertainty analysis
- Recommendations on how to interpret, use and present the results of PSA analyses

### Cases:

- Comparative study of two PSAs (level 1) of similar plants
- Study of uncertainties of deterministic models in PSAs
- Commission errors

## Comparative study of PSAs

PSA level 1 studies of similar plants:

- Why the results are so different?

Causes of differences and uncertainties:

- scope, definitions and limitations of the PSA
- background and arrangement of analysis work
- methods
- quality control
- real uncertainties which are treated in different ways

## Approach for the comparative study

Comparison of:

- general PSA-project arrangements
- initiating events (what events, quantification, CCIs...)
- event trees (systems, success criteria...)
- fault trees
- specific issues (human errors, CCF)

Questions for utilities / PSA-consultants,  
reporting of reasons for major differences in studies

## Comparative study, some findings

### Differences due to the organisation of the projects:

- goals, background, resources
- working method of the analysis team, coupling with other projects
- reference PSA

### Differences in initiating events:

- CCIs
- LOCA-categories and frequencies
- loss of offsite power

### Differences in event tree analyses:

- definition of core damage
- definition of end states
- success criteria for certain safety functions

## Comparative study, outcomes

- Comparability of PSAs?
- Recommendations for uncertainty analysis:
  - qualitative analyses, quantitative analyses, documentation
- Reduction of uncertainties and differences
- Use of uncertain PSA

### Use in risk-informed decision making

- one important scope of the PSA analysis should be the utilisation as support in decision making at the plant
- requires detailed models / flexibility for changes

## Uncertainty of deterministic models of PSA

Identification of uncertainties, characterisation of their nature and their impact on the final results, on the decision making and interpretation of PSA-results

A qualitative approach for identification of uncertainties and for documenting assumptions and uncertainties in analyses

- identification and classification of the major sources of uncertainties
- identification of the role of expert judgements, realism vs. conservatism
- identification of possibilities to reduce uncertainties
- Case studies (e.g. BWR Hydrogen Case from SOS-2.3)

Recommendations for uncertainty communication (PSA Level 1 and 2 experts, analysts, decision makers, other) (with possibly different uncertainty perception)

## Format for summarising the analysis and documenting the assumptions and uncertainties

Description of the phenomenon, Its role and importance in PSA

Models used (theory behind, possible computer codes and their validation)

Role of expert judgement in the analysis

Uncertainty and sensitivity analyses made, methodology, main results

Main sources of uncertainties Qualitative description Quantitative characterisation  
Possibilities/restrictions for uncertainty reduction

- Phenomenon (inherent, knowledge)
- Model incompleteness
- Input data for the model (experiments, generic data, own experience, exp.judg.)
- Boundary conditions
- Selection of initial states for calculation
- Numerical/Computational (nodalisation, time steps...)

## Case study: BWR hydrogen scenario

Assessment of thermal hydraulic loads related to hydrogen combustion in a Nordic BWR reactor building under severe accident conditions

- Small leakages (2 mm<sup>2</sup> / 20 mm<sup>2</sup>) in containment are assumed
- Starting from calculated hydrogen concentrations and conditions in the reactor building rooms, it is assessed if H<sub>2</sub> concentrations can reach detonable conditions.
- Give a rough estimate on the integrity of tube penetrations exposed to pressure spikes.

Modelling phases:	release of H <sub>2</sub>	MELCOR
	H <sub>2</sub> concentrations	FLUENT
	detonation loads	1) simple 1-D model, 2) DET3D (3-D)
	structural integrity	ABAQUS

## BWR hydrogen case: assumptions, role of uncertainties, uncertainty reduction

- Assumptions in the scenario: loss of reactor building ventilation, 100 % of zirconium oxidised in the core melt accident
- Both MELCOR and FLUENT calculations indicate conditions required for a hydrogen burn (hydrogen-steam-air mixture) for both leakage sizes
- The uncertainty related to ignition of the hydrogen is high and hard to reduce (inherent phenomenological uncertainty)
- Large uncertainties are also related to the deflagration-to-detonation-transition
- Uncertainties in pressure loads due to a detonation can be reduced to some extent with 3-D modelling
- Uncertainties in structural analyses (given a pressure load) are related e.g. to material properties and reinforcement, but seem to be minor compared to uncertainties in ignition and detonation

## Conclusions

### Uncertainty analyses and PSA

- PSA should be seen as an organised collection of evidence about the plant safety.
- The purpose of an uncertainty analysis is to document and clarify the evidence behind the PSA results.

### Qualitative vs. quantitative analyses

- Emphasis on the need of a broad qualitative uncertainty analysis, forming a basis for determining requirements for quantitative uncertainty analyses.
- The quantitative analyses are selected according to the purposes for which the safety analysis is applied.

## Conclusions (cont.)

### Interpretation of uncertainty

- The identification and interpretation of the nature of uncertainty is not always straightforward and may depend on the individual (analyst, decision maker, other observer).

### Importance of transparency, coverage and documentation

- Emphasis on the identification and documentation of various types of uncertainties and assumptions in the modelling of the phenomena.
- The uncertainty analysis should aim at a transparent documentation of assumptions and unclear issues of the analysis.



## Conclusions (cont.)

### Role of classification of uncertainties

- The distinction of various types of uncertainty can be used in a decision making situation in order to identify the most suitable measures for uncertainty reduction and for determining the needs for additional evidence

### Uncertainty identification, evaluation and communication in safety analyses

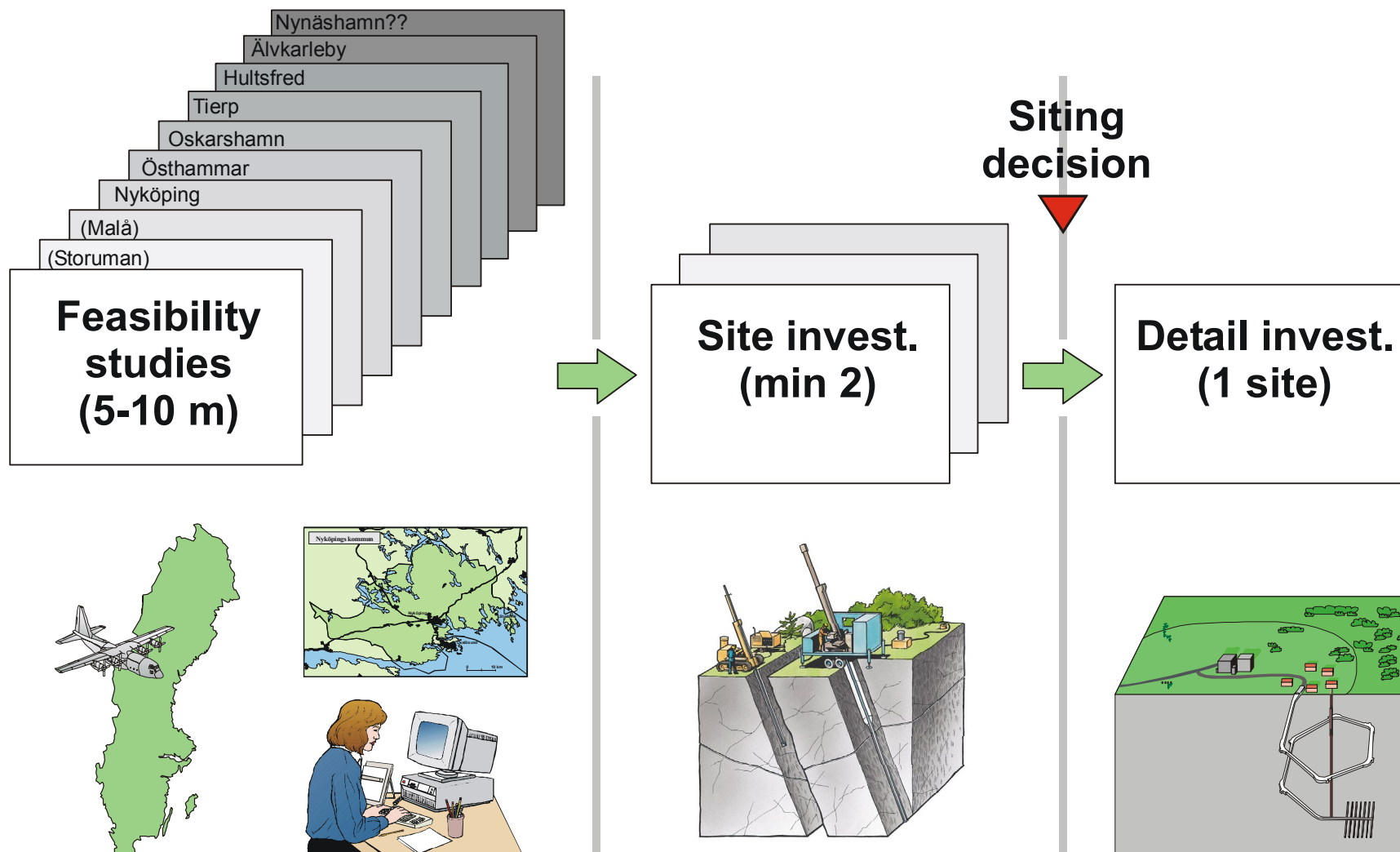
- Essential to include and document all unclear issues, in order to obtain a maximal coverage of unresolved issues. This holds independently on their nature or type of the issues
- Enhanced documentation serves to evaluate the applicability of the results to various risk-informed applications

# Metodik för SR 97

## Långsiktig säkerhet för djupförvar för använt kärnbränsle

Allan Hedin, SKB

# Bakgrund – Lokaliseringsprocessen



# Varför SR 97?

Inför platsundersökningar måste SKB redovisa:

- en analys av alternativen till KBS 3, även nollalternativet
- en analys av hela hanterings-systemet med inkapsling, transporter, drift och långsiktig säkerhet
- ett platsundersökningsprogram,
- en samlad utvärdering av förstudierna,
- en ingående analys av KBS 3 metodens långsiktiga säkerhet (SR 97).

Platsundersökningar kräver ingen formell tillståndsansökan

# SR 97 – Syften

SR 97 ska

- utreda förutsättningarna att bygga ett säkert djupförvar i svensk berggrund
- demonstrera metodik för säkerhetsanalyser
- ge underlag för att ställa krav på berget, formulera platsundersökningsprogram och barriärutformning

# SR 97 – Förutsättningar & avgränsningar

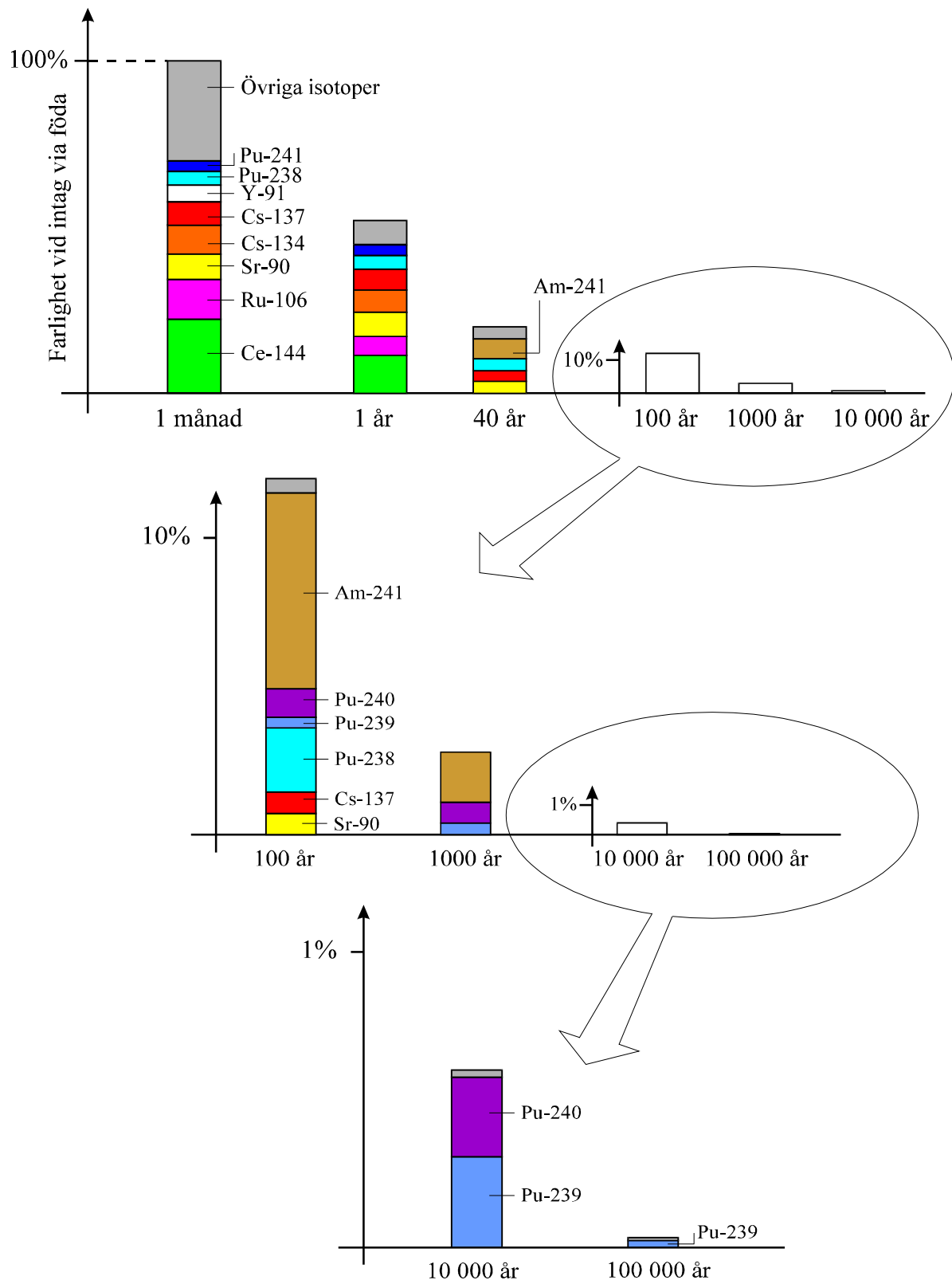
- Acceptanskriterium: SSIs riskgräns
- Säkerheten ska utvärderas upp till 1 000 000 år
- Förslutet förvar
- KBS 3 förvar med berggrundsdata från tre platser i Sverige

# SR 97 – Allmänna slutsatser

## SR 97

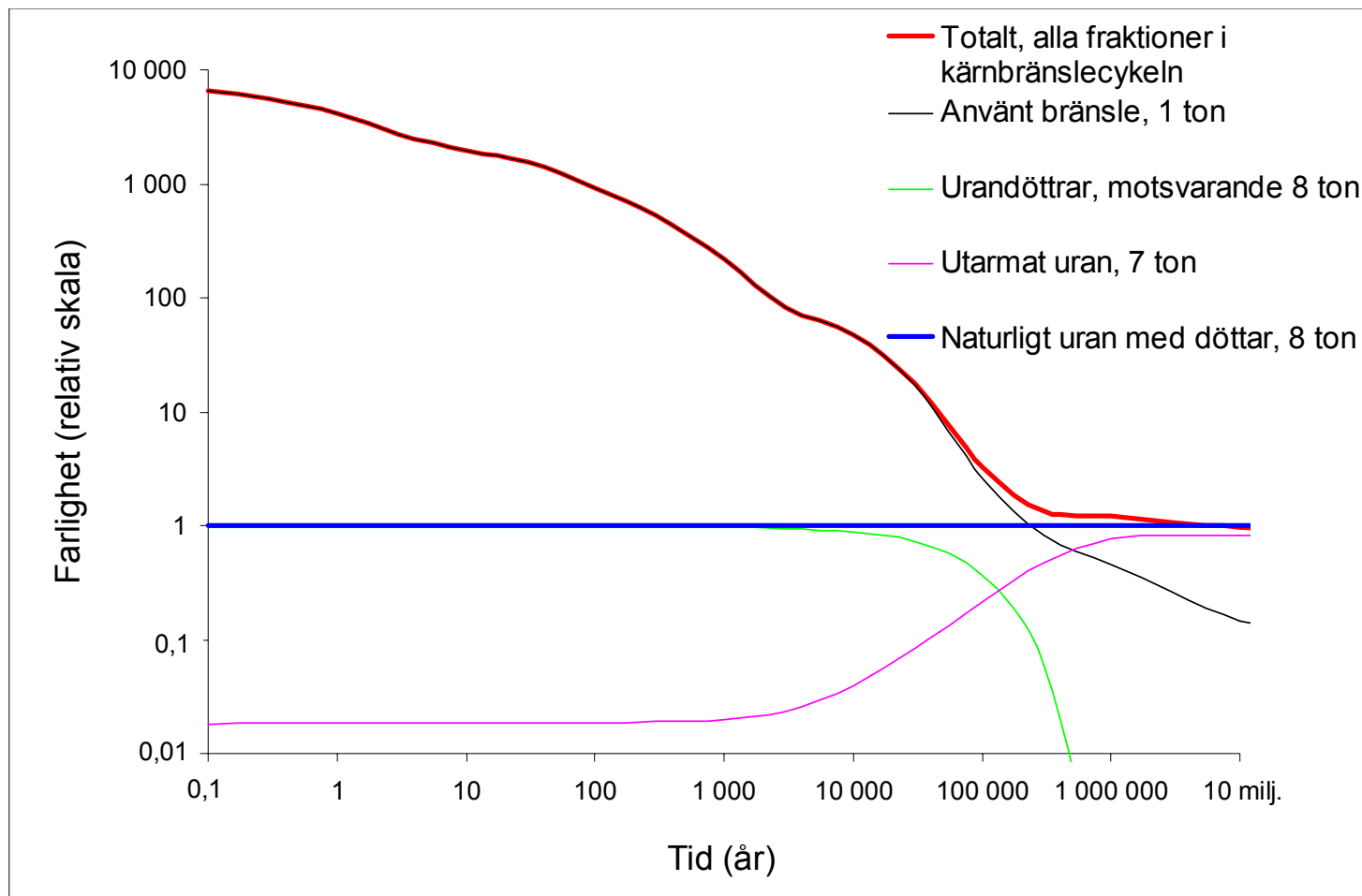
- demonstrerar en fungerande metodik för kommande säkerhetsanalyser
- ger underlag för att formulera krav på berget och övriga barriärer, och till FoU-program
- visar att förutsättningarna att bygga ett säkert KBS 3 förvar i svensk berggrund är mycket goda

# Problemet: Farligheten hos använt kärnbränsle

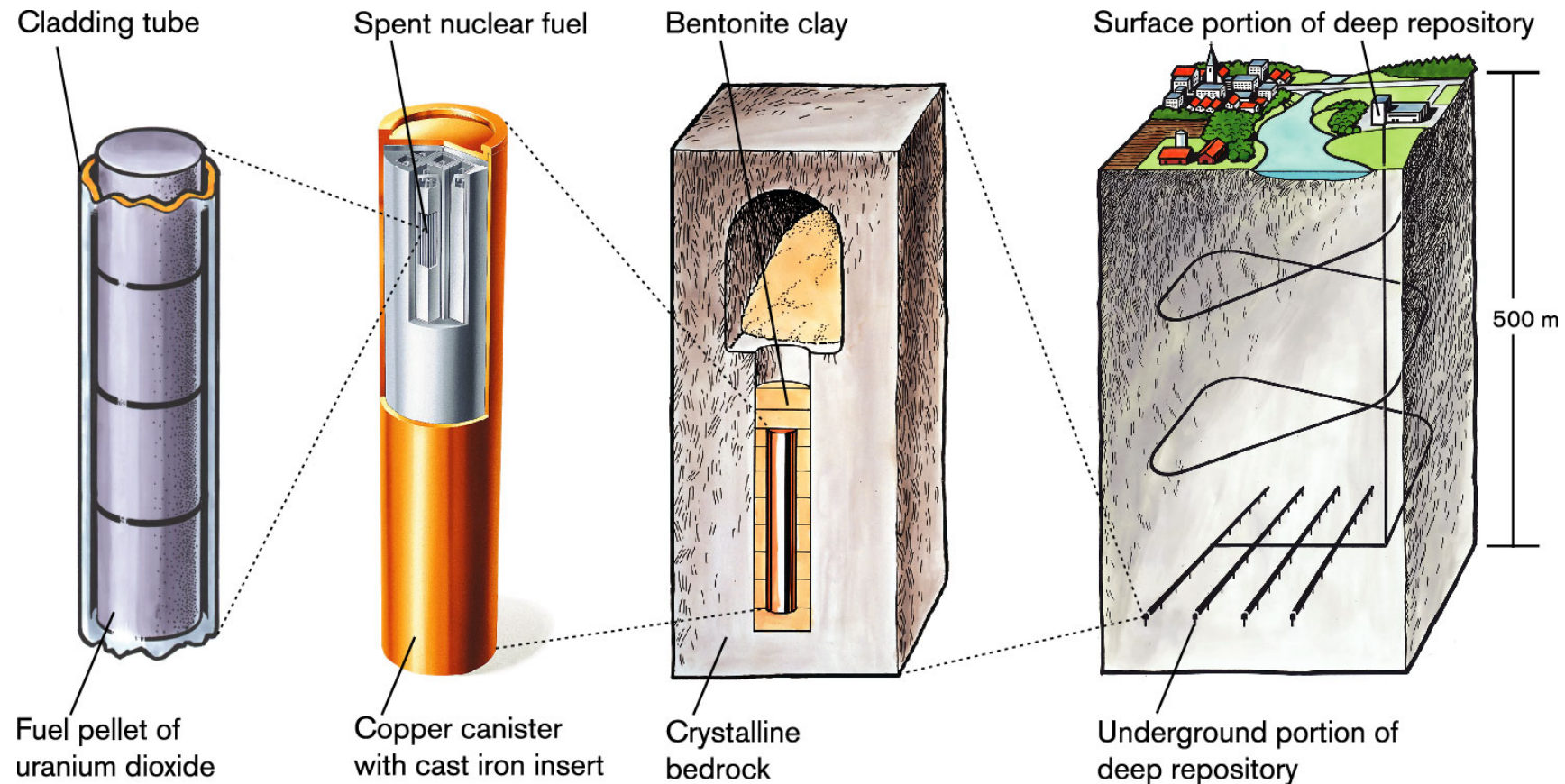




# Problemet...



# Föreslagen lösning: Flerbarriärsystem enligt KBS 3 metoden



## Är lösningen godtagbar?

- Säkerhetsanalysen ger en del av svaret
- Dessutom
  - tekniskt genomförbart?
  - etiskt acceptabelt?
- Vad är säkerhetsanalys?
  - den metod som används för att bedöma säkerheten hos ett djupförvar
- Hur gör man? Tre steg:
  - beskriv systemets tillstånd efter förslutning
  - beskriv förändringar över lång tid (inre processer och yttre påverkan)
  - utvärdera konsekvenser för säkerheten

# En utgångspunkt: FEP listor

- FEP = Features, Events and Processes av betydelse för den långsiktiga säkerheten
- Samlas i databaser nationellt och internationellt (NEA)

# FEPs forts...

- Exempel
  - Kapseldimensioner
  - Initiala kapselskador
  - Sprängstörd zon kring tunnlar och borrhål
  - Jordskalv
  - Intrång
  - Radioaktivt sönderfall
  - Värmeledning
  - Illitiseri (leromvandling)
  - Grundvattenströmning
  - Klimatförändringar

# SR 97 – FEP-sortering

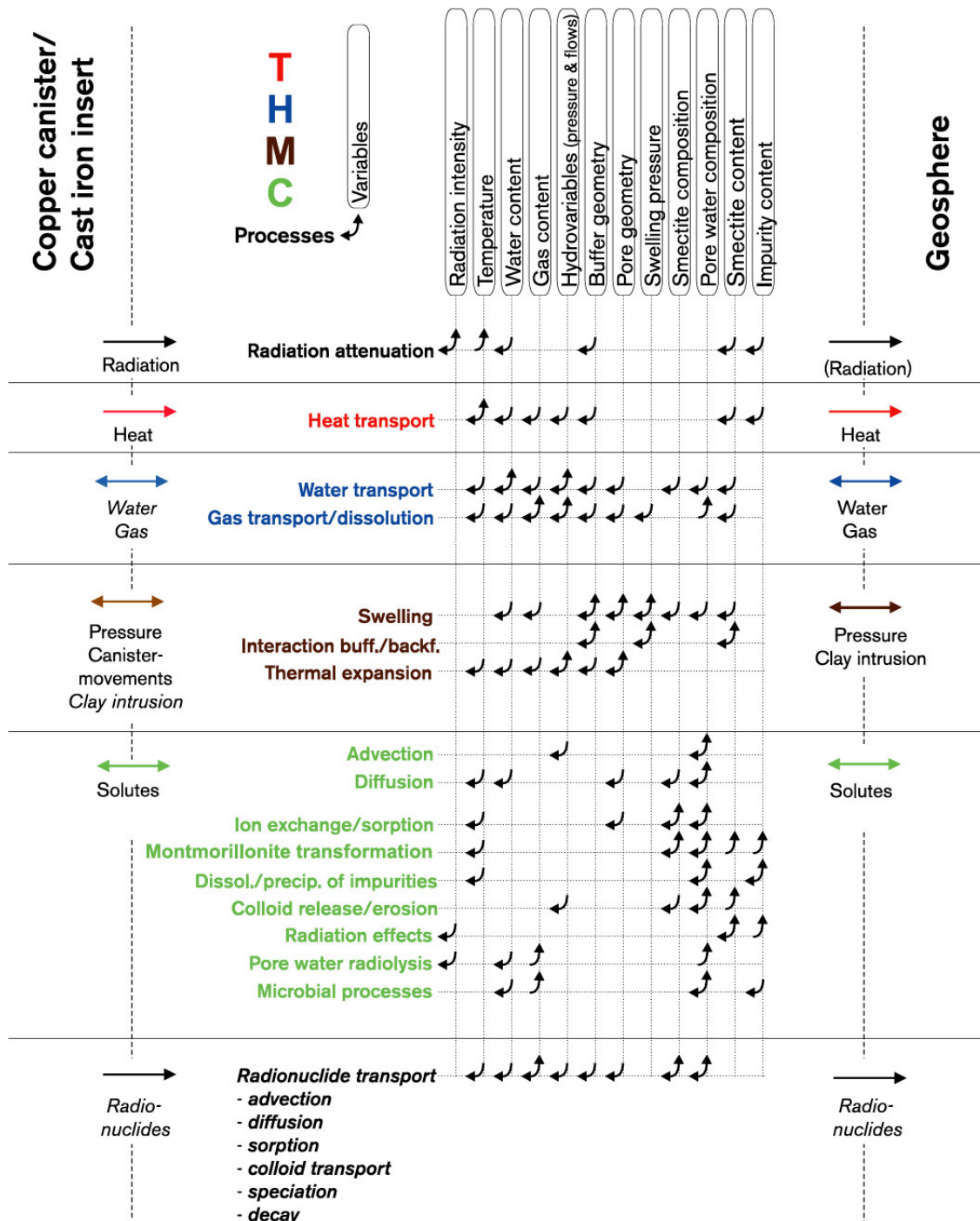
FEPs	Sortera FEPs i grupper relaterade till:	Säkerhetsanalysen:
	Initialtillstånd	<ul style="list-style-type: none"><li>• Beskriv initialtillstånd</li></ul>
	Inre processer	<ul style="list-style-type: none"><li>• Analysera förvarets utveckling till följd av:<ul style="list-style-type: none"><li>– Inre processer</li></ul></li></ul>
	Yttre händelser & processer	<ul style="list-style-type: none"><li>– Yttre påverkan</li></ul>

# SR 97 – Processsystem

- Indela förvarssystemet i
  - 1) bränsle
  - 2) kapsel
  - 3) buffert/återfyllning
  - 4) geosfär
- För varje del:
  - inre THMC processer
  - tidsberoende “variabler” för att beskriva barriärtillståndet
  - THMC-interaktioner med intilliggande barriärer
- För varje del konstrueras ett THMC-diagram med
  - processer
  - variabler
  - inre kopplingar
  - interaktioner med intilliggande barriärer

# SR 97 – THMC Diagram

## Buffer/Backfill





# SR 97 – Processrapport

För varje inre process:

- Allmän beskrivning
- Experiment- och modellstudier
- Osäkerheter
  - grundläggande förståelse
  - modellosäkerheter
  - dataosäkerheter
- Hantering i säkerhetsanalysen SR 97

# SR 97 – Scenarier

## Base scenario

Fuel	Cast iron insert/ Copper canister	Buffer/Backfill	Geosphere	Surroundings
Initially: • The repository is built according to specifications at Aberg, Beberg och Ceberg				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Today's climate persists</li> <li>• Ongoing land uplift</li> <li>• Today's biosphere, affected by land uplift</li> <li>• No earthquakes</li> <li>• No human intrusion</li> </ul>

## Canister defect scenario

Fuel	Cast iron insert/ Copper canister	Buffer/Backfill	Geosphere	Surroundings
Initially: <ul style="list-style-type: none"><li>• A few canisters have initial defects</li><li>• The rest of the repository is built according to specifications at Aberg, Beberg och Ceberg</li></ul>				<ul style="list-style-type: none"><li>• Like base scenario</li></ul>

## Climate scenario

Fuel	Cast iron insert/ Copper canister	Buffer/Backfill	Geosphere	Surroundings
Initially: • The repository is built accoring to specifications at Aberg, Beberg och Ceberg				• Climate change • Climate-affected biosphere  • Otherwise like base scenario
Variant: • A few canisters have initial defects				

## Tectonics/earthquake scenario

Fuel	Cast iron insert/ Copper canister	Buffer/Backfill	Geosphere	Surroundings
Initially: • The repository is built according to specifications at Aberg, Beberg och Ceberg				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Earthquake</li> <li>• Otherwise like base scenario</li> </ul>

## Intrusion scenario

Fuel	Cast iron insert/ Copper canister	Buffer/Backfill	Geosphere	Surroundings
Initially: • The repository is built according to specifications at Aberg, Beberg och Ceberg				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Human intrusion</li> <li>• Otherwise like base scenario</li> </ul>

# Osäkerheter

- Kvalitativa osäkerheter
  - Fullständighetsproblemet
  - ”Konceptuell osäkerhet”:  
processförståelse, modellosäkerhet
- Kvantitativa osäkerheter
  - bristande kunskap
  - naturlig variabilitet i rum och tid

# SR 97 – Basscenario

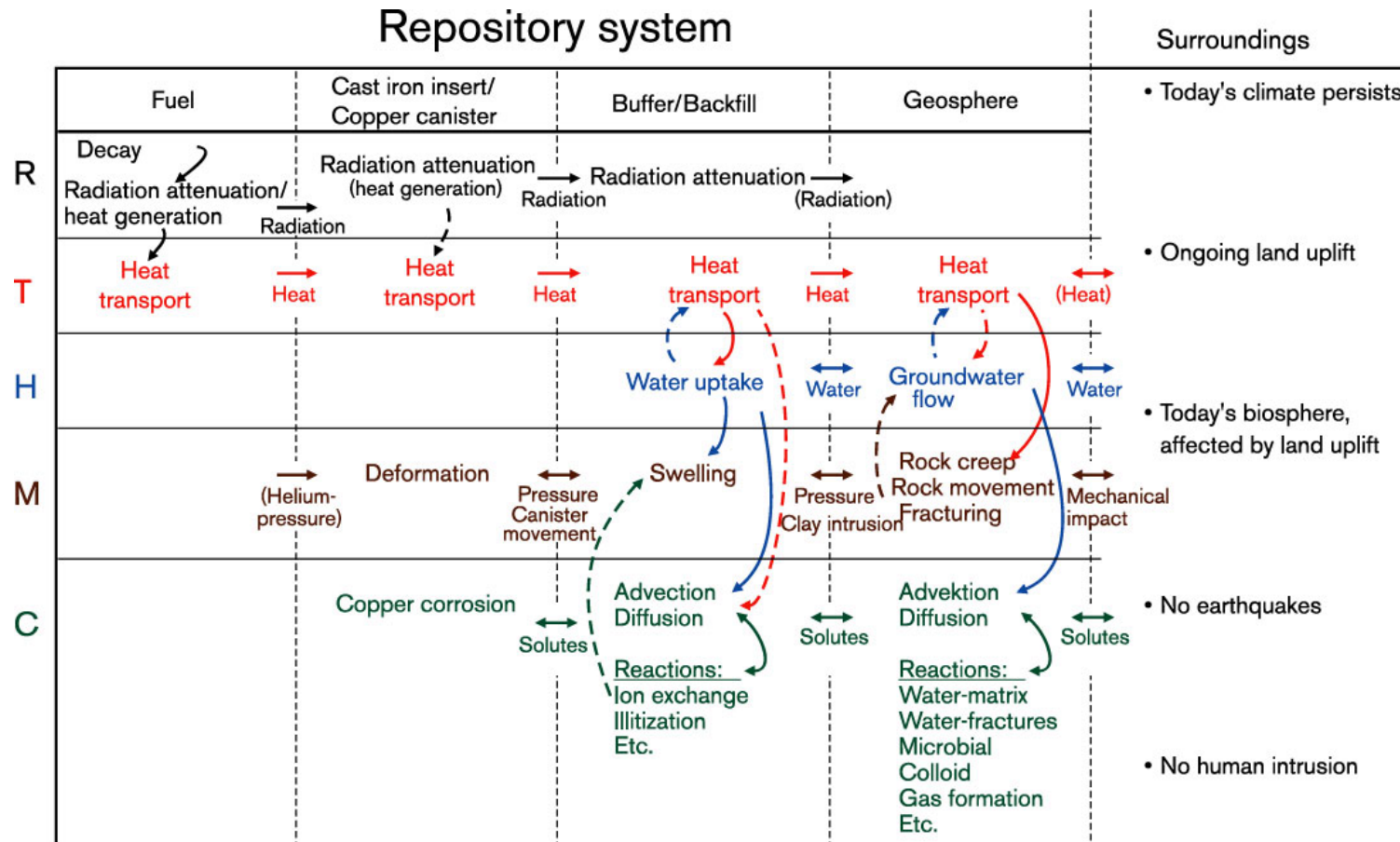
## **Definitioner:**

- Dagens klimat
- Förvaret byggt helt enligt specifikationer

## **Analys:**

- Fokus på isolering
- Analys av T, H, M, C utveckling
- Slutsats: Inga problem!

# Förenklad översikt av (R)THMC processer i basscenariot



# SR 97 – Kapseldefektscenario

## Definitioner:

- ett fåtal kapslar har initiala små skador
- dagens klimat

## Analys:

- Kriticitet
- Inre utveckling hos trasig kapsel
- Grundvattenflöden vid de tre platserna
- Transport av radionuklider i kapsel, buffert och berg
- Radionuklidspridning i biosfären

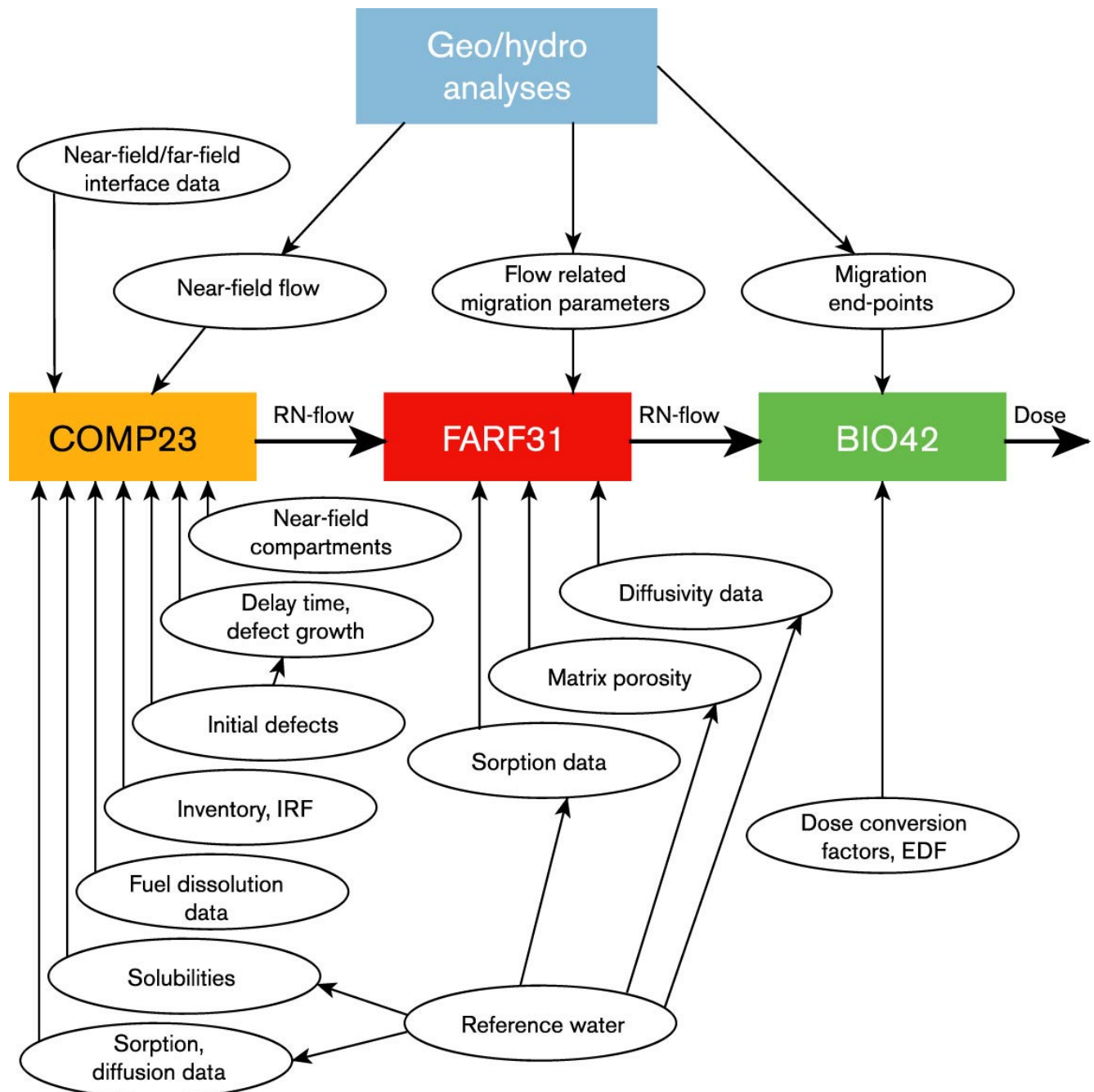


- Beräkningar av radionuklidtransport

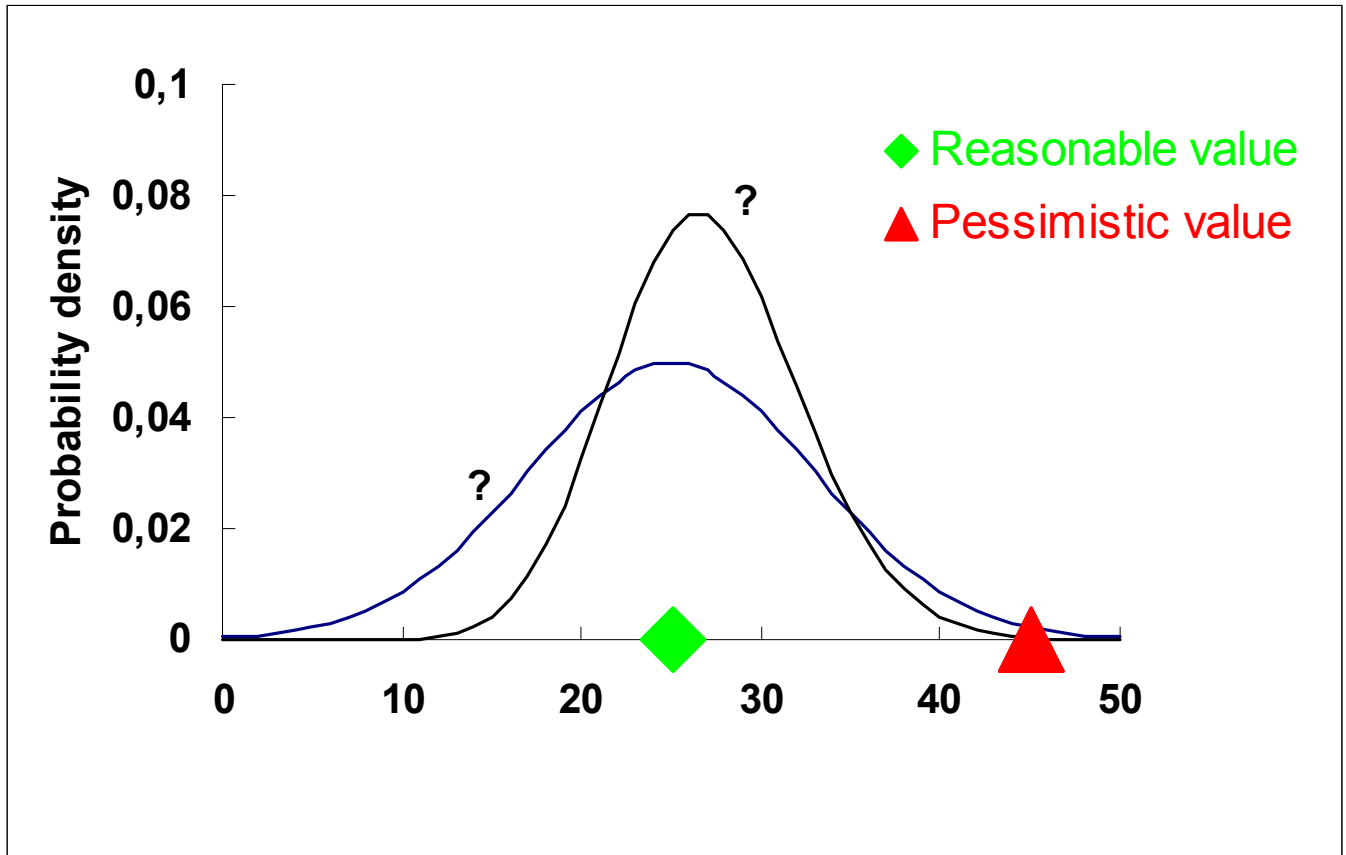
# SR 97 – Modellkedja

Models

Data



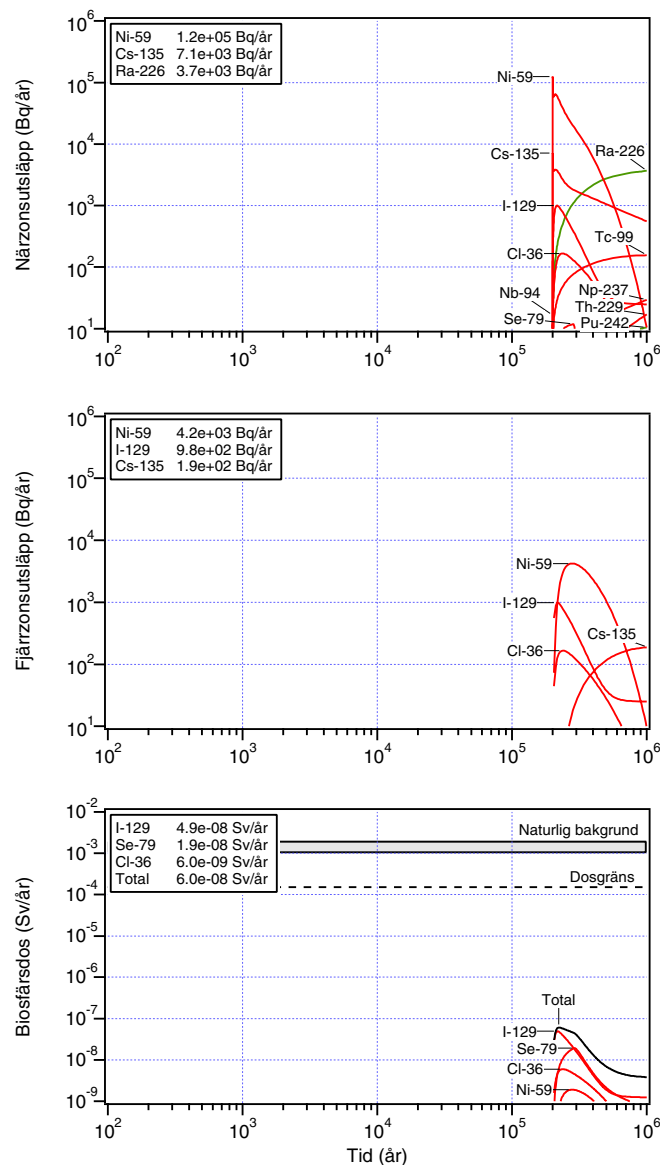
# SR 97 – RN transport beräkningar; Data



- Alla data och dataosäkerheter i RN transport beräkningarna sammanställda och diskuterade i särskild Datarapport
- För de flesta parametrar ges rimligt och pessimistiskt värde, ingen grund för att ange sannolikhetsfördelningar
- Beräknade fördelningar för grundvattenflöde och advektiva transporttider



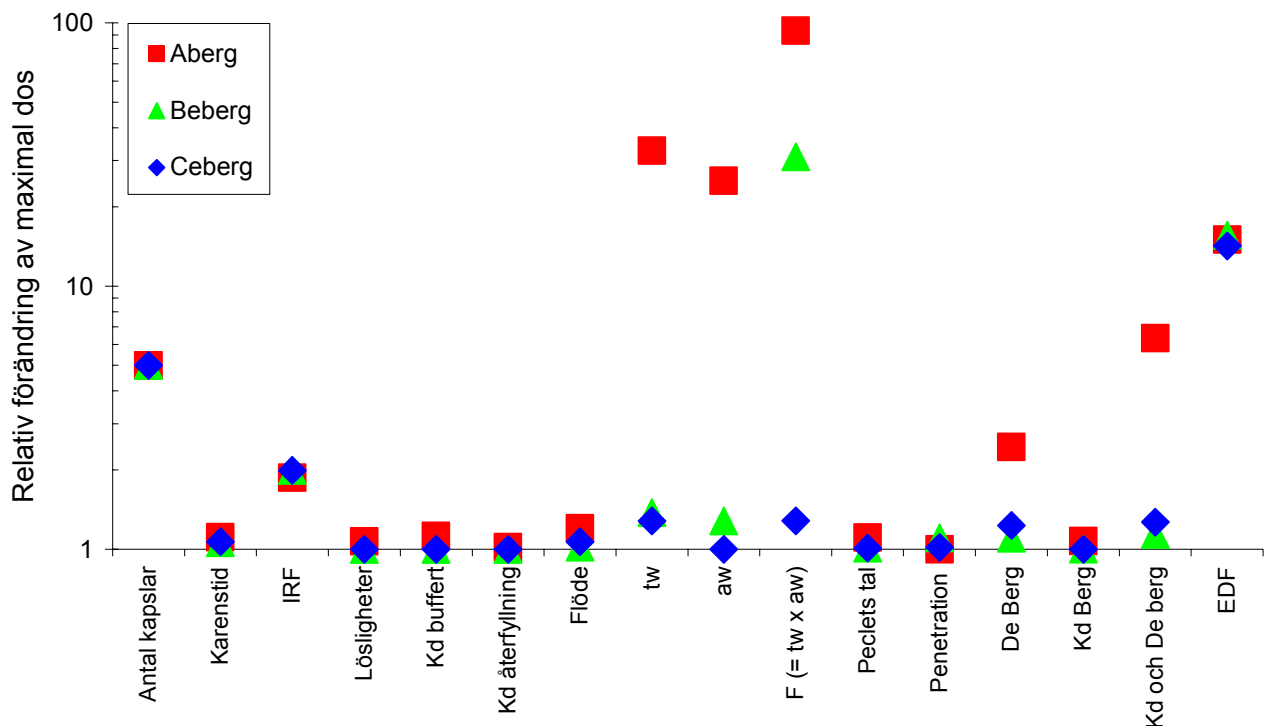
# SR 97 – Beräkningar av radionuklidtransport; “Rimliga” resultat



SFL 2 Aberg a00

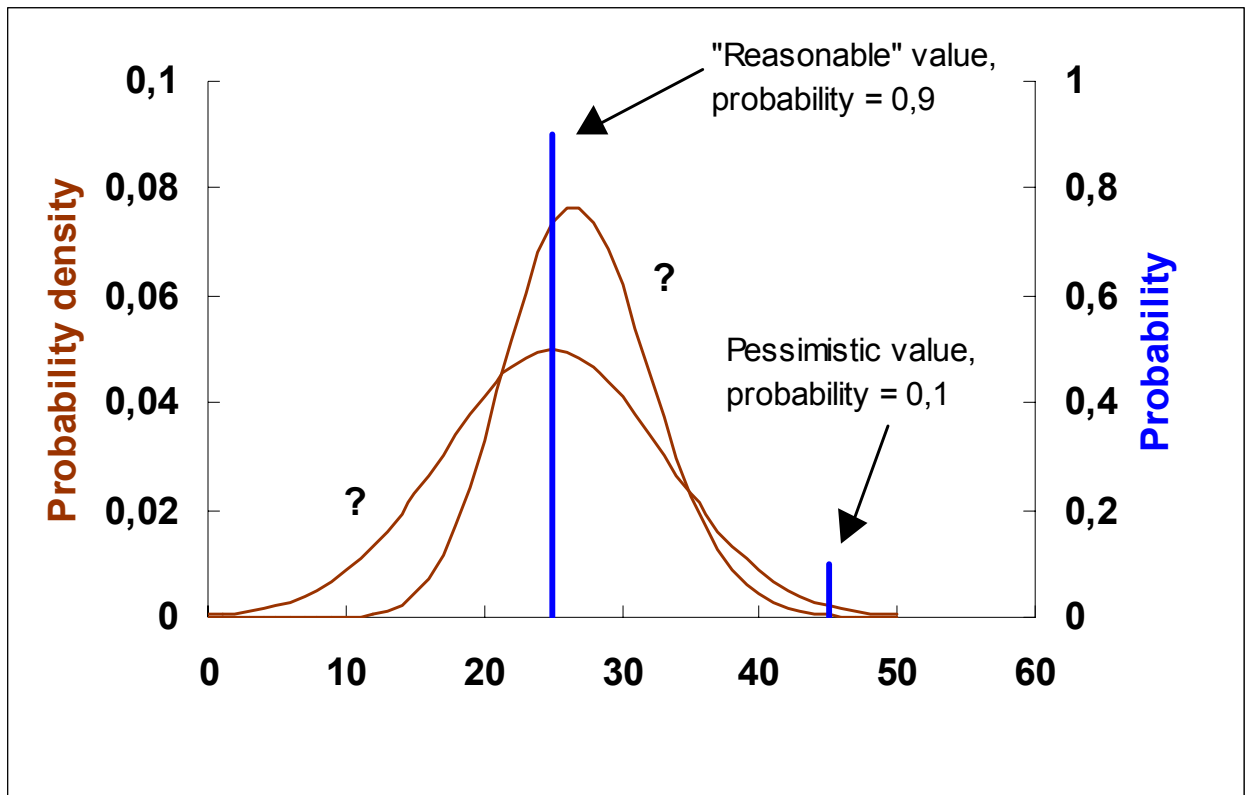
1999-09-03

# SR 97 – Beräkningar av radionuklidtransport; osäkerhetsanalys



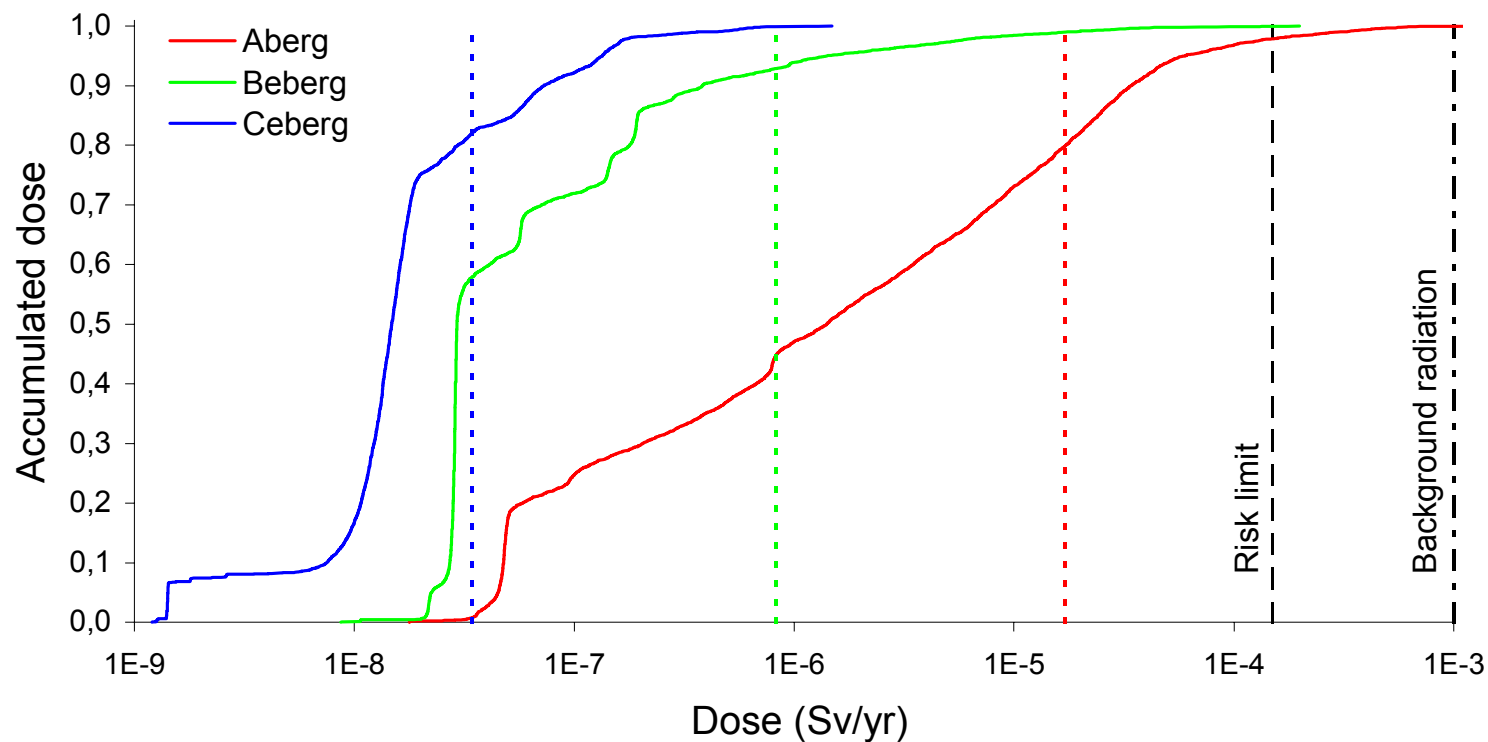
- Baslinje (=1): Maxdos över  $10^6$  år med rimliga data.
- Diagrammet visar ökning i maxdos då parametervärden, en efter en ändras från rimliga till pessimistiska, (tre platser).

# SR 97 – Riskberäkningar



- För grundvattenflöden och advektiva gångtider: beräknade fördelningar
- För de flesta övriga: Antag  
 $p(\text{rimligt}) = 0,9$   
 $p(\text{pessimistiskt}) = 0,1$
- 5000 realiseringar för varje plats

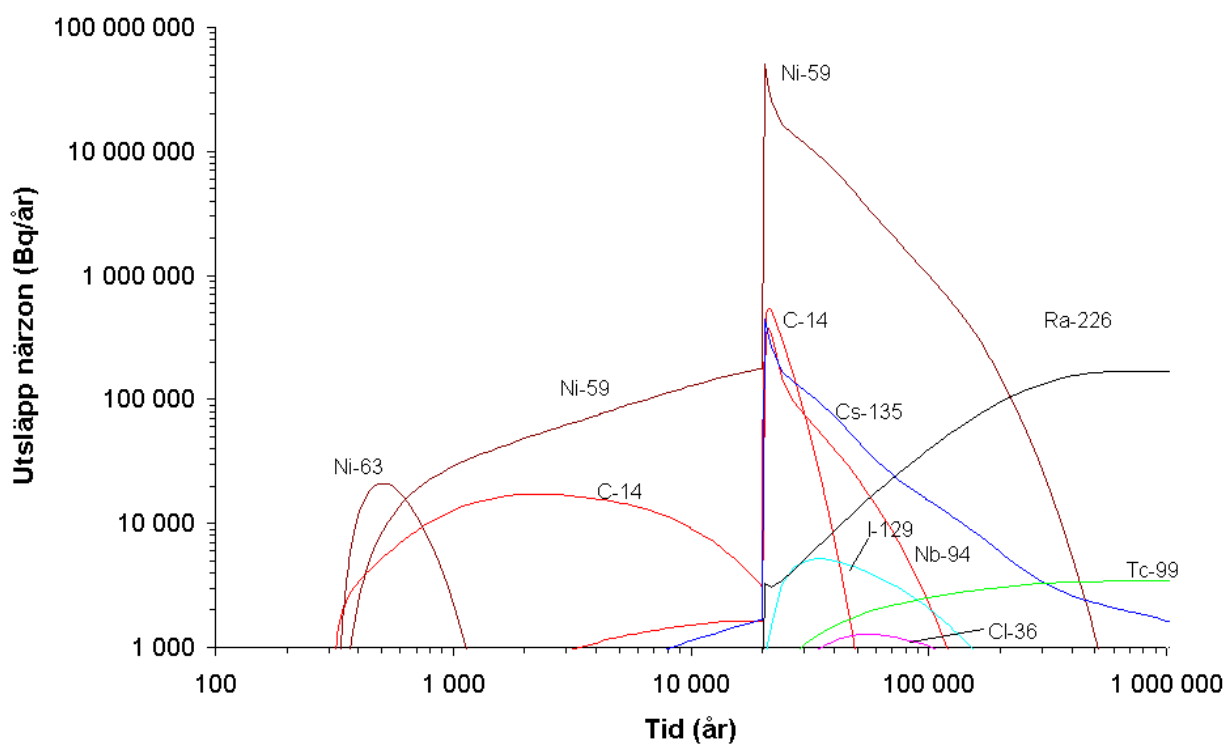
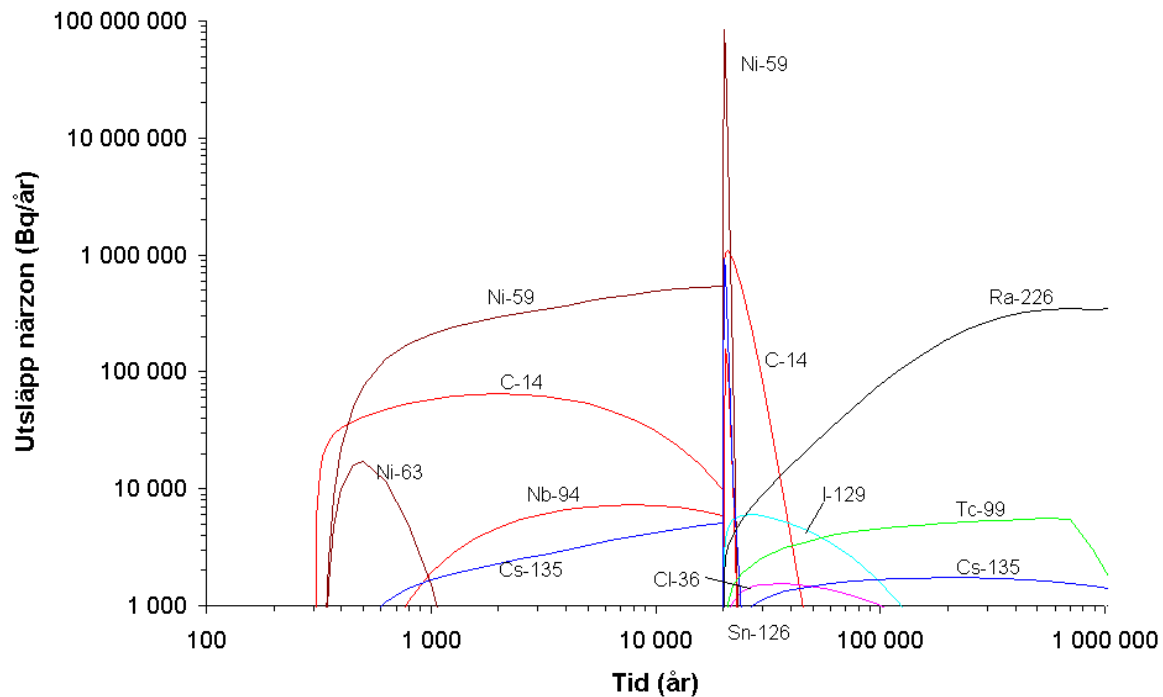
# SR 97 – Resultat av riskberäkningar



# Närzonsutsläpp

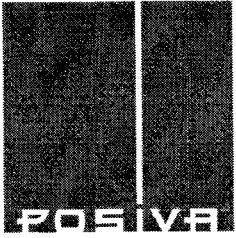
Övre: Förenklad analytisk modell

Undre: Datormodell



# Några slutord

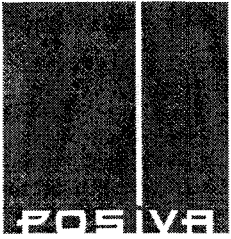
- Nätverk av kontinuerliga, naturliga processer "driver" utvecklingen i systemet.
- Svårt finna underlag för statistiska analyser annat än i undantagsfall
- Internationellt:
  - Det finns ingen standardmetod - bl a traditioner och lagstiftning skiljer mellan länder
  - Allt från helt probabilistiska till icke-probabilistiska analyser förekommer



# (O)SÄKERHETSANALYS AV SLUTFÖRVARING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE

Juhani Vira  
Posiva Oy

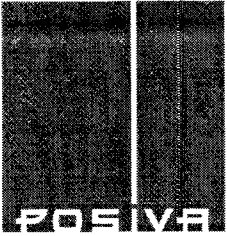
Risø 23.–24.3.2000



## SLUTSATSER:

- (1) Den vetenskapliga metoden kan och bör tillämpas,
- (2) men vi vet inte vad vi inte vet.
- (3) Besluten måste grundas på bedömningar.
- (4) Bedömningar kan baseras på jämförelser av tillgängliga alternativ.





# SAFETY ANALYSES FOR FINAL DISPOSAL OF SPENT FUEL

TVO-92:

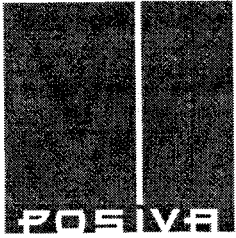
Safety of concept in anticipated site conditions  
(five alternative site candidates)

TILA-96:

Interim report on safety assessment

TILA-99:

Safety of concept on the proposed site (Olkiluoto)

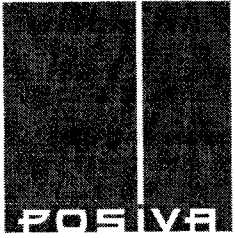


## ASSESSMENT GOALS:

Analysis of long-term safety of final disposal in a way that is

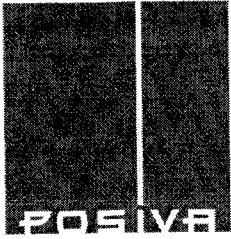
- robust
- transparent
- reproducible

Main question: whether further work can be based on the proposed concept and focused on the candidate site(s).



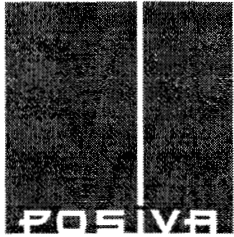
## METHODOLOGICAL APPROACH

- consequence oriented (no quantitative probability judgements)
- bounding scenarios with variations and sensitivity studies
- robust models (justified by current science)
- conservative data (assume the worst)



## FRÅGOR FÖR FORTSATT FORSKNING:

- (1) Hur länge bevaras avfallet isolerat från berget?
  - okända korrosionsmekanismer?
  - istidens påverkan på kapseln?
  
- (2) Hur (o)sannolika är kapseldefekter?
  - kan de upptäckas (med QC/QA)?
  
- (3) Vad händer om kapseln tappas helt sin isoleringsförmåga?
  - hur fungerar de andra barriärerna?



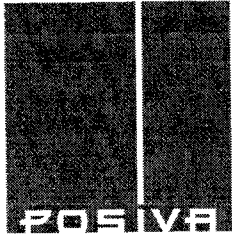
## RESTERANDE OSÄKERHET

R1: Fullständighet av scenariovalet

R2: Sannolikhet av scenarier med höga doskonsekvenser

R3: Giltighet av teoretiska koncept och modeller

R4: Pålitlighet och representativitet av (mät)data

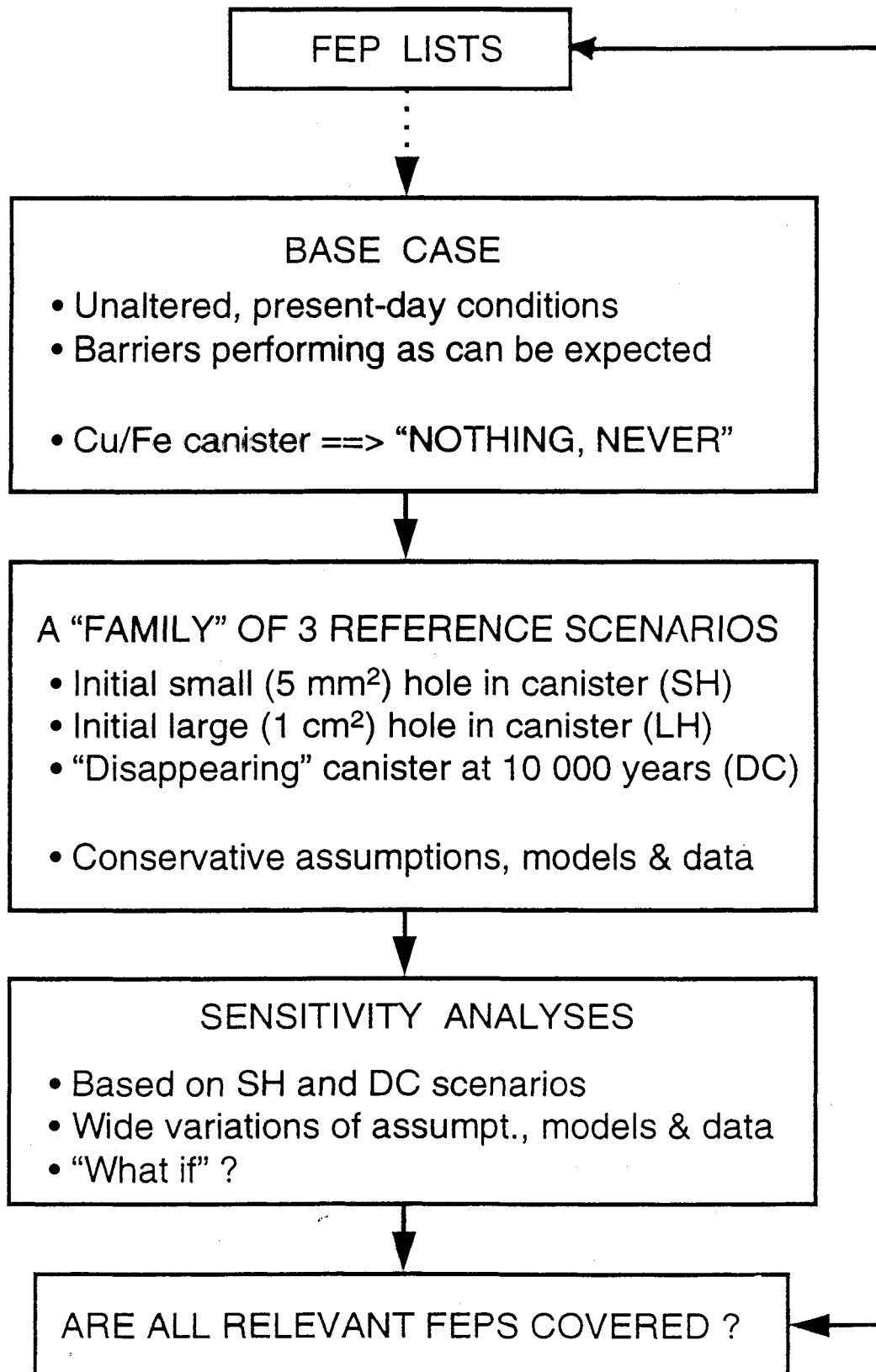


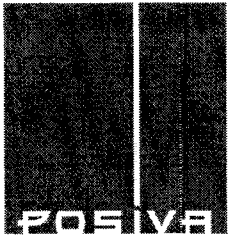
## R1: FULLSTÄNDIGHET AV SKENARIOVALET

- Systemdynamik (à la Thompson)
- "automatiska" scenariogeneratorer (à la Sandia)
- influence diagrams (à la SKI)
- interaction matrices (à la SKB)
- expertbedömning (à la Posiva)

**SLUTSATSEN:** Scenarier är beskrivningar av det möjliga men deras fullständighet kan aldrig utvärderas på något vetenskapligt sätt.

# Scenario approach





## R2: SANNOLIKHET AV SCENARIER

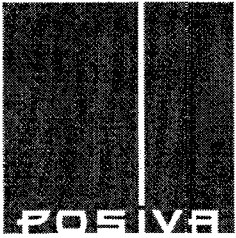
- Grundläggande postulat:
  - (P1) Framtiden kan extrapoleras från det förflutna
  - (P2) Framtida processer är desamma som man ser i det förflutna
- På grund av sådana postulat är det möjligt att beskriva *våra uppfattningar* om sannolikheter av olika scenarier
- Ingen möjlighet att testa grundläggande postulat eller sannolikhetsbedömningar för enskilda scenarier

**SLUTSATSEN:** Det finns ingen vetenskaplig metod för att utvärdera scenariosannolikheter!



## VETENSKAPLIG HYPOTES?

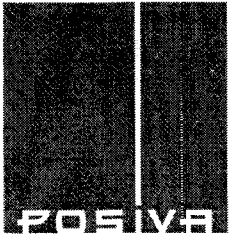
- (1) en hypotes vars giltighet man kan sätta på prov mot observationer (stark)
- (2) en hypotes som (åtminstone i princip) kan förkastas eller stödås p g a fortsatt forskningsaktivitet (svag)



## R3: GILTIGHET AV TEORETISKA KONCEPT OCH MODELLER

- Den vetenskapliga metoden kan tillämpas på teorier och modeller
- Långsam process som inte äger rum automatiskt
- Kan leda till vetenskapliga *bedömningar*

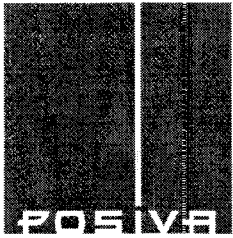
SLUTSATSEN: Ödmjukhet krävs!



## R4: PÅLITLIGHET OCH REPRESENTATIVITET AV (MÄT)DATA

- Förtroende för mätdata kan ökas med QA-procedurer och förbättrad teknik
- Representativiteten förbättras när antalet mätdata ökas men
- ökade mätningar kan påverka mätobjektet
- omöjligt att bevisa att en viss statistik håller för det bergområde man är intresserad av (berget i sig självt är inte stokastiskt)

**SLUTSATSEN:** Tillräckligheten av data är en bedömningsfråga.



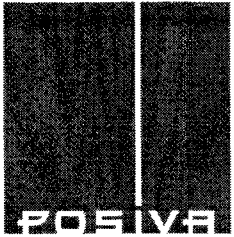
## BESLUTKRITERIER: RISK ELLER DOS?

### (1) RISK

- bedömningar kan försvaras med vetenskapliga argument men en vetenskaplig utvärdering av den totala risken är omöjlig
- kan maskera källan av osäkerhet
- lågt informationsvärde för lekmän (som beslutar?)

### (2) DOS

- konsekvensberäkningar kan betraktas med vetenskapliga metoder (förutom tidsperspektiv)
- sannolikhetsbedömningar krävs ändå om de beräknade konsekvenserna är för höga
- kan leda diskussion till obetydliga beräkningsfall



## DÄRFÖR:

- (1) Säkerhetsanalysen är ett nödvändigt verktyg i beslutsfattande i avfallsfrågor men ger aldrig ett fullständigt svar om något är acceptabelt eller inte
- (2) Besluten måste grundas på bedömningar (utan fullständig information om osäkerheten i dem)
- (3) Syfta till utvärdering av alternativ (vid varje steg välj det bästa tillgängliga alternativet och acceptera att "bäst" inte är bara en teknisk fråga utan fordrar samhällelig diskussion)

## Uncertainty, Expert Judgements, and Safety Related Decisions

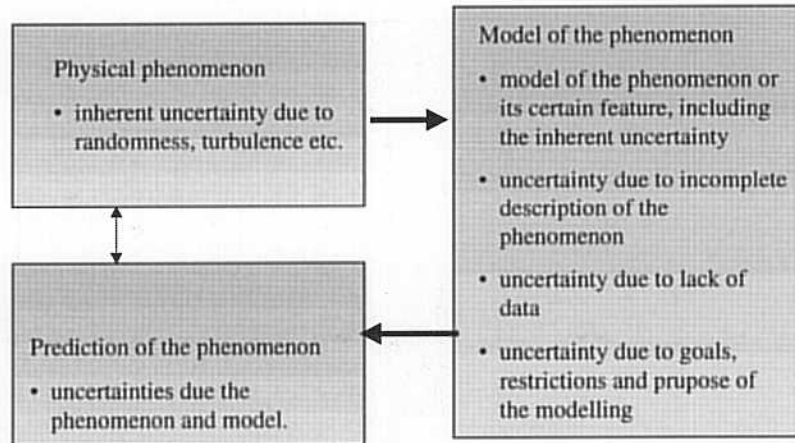
### CONTENTS

Introduction  
Nature and role of uncertainty  
Expert Judgements  
Decisions  
Conclusions

## Introduction

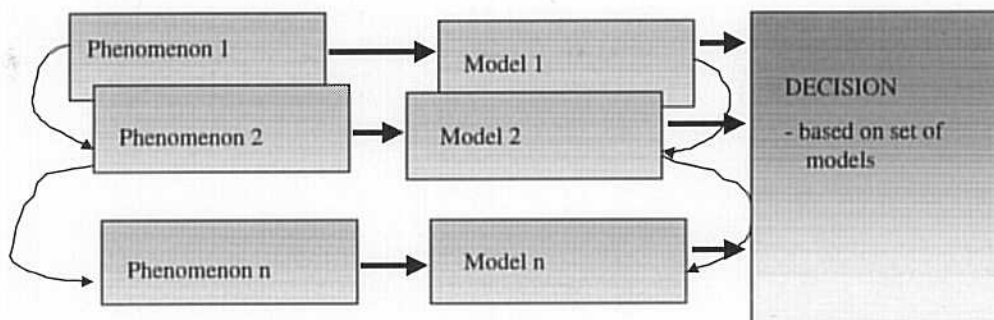
- safety assessments are very complex and require many types of expertise
- interest on high safety => accidents with very small probabilities may be important => poorly known phenomena must be analysed => very specific expertise must be utilised => expert judgements needed.
- paradox: small probability => large uncertainty???
- methodologies for uncertainty analyses different in different areas

## Nature and role of uncertainty



## Nature and role of uncertainty

Typical situation in safety analysis



- several phenomena with their own type of inherent uncertainties, several models with their own modelling abstractions, several analyses, several languages

## Expert judgement

- a short history
- examples of expert judgement
- needs for expert judgement in risk assessments
- expertise
- rational consensus
- expert judgement process
- methods and approaches

## Expert judgement

### A SHORT HISTORY OF EXPERT JUDGEMENTS:

- oracle of Deplhi
- RAND Corporation (from 1950's)
  - advice for strategic planning
  - Herman Kahn
  - scenario analysis
  - DELPHI-method



## Expert judgement

### A SHORT HISTORY OF EXPERT JUDGEMENTS (cont.)

- risk analyses, PSA
- Aerospace and military applications
- NUREG-1150

## Expert judgement

### EXAMPLES OF EXPERT JUDGEMENT

- consultation of several meteorologists on weather forecasts
- economical forecasts
- betting on sports, horses etc.
- estimates of failure probabilities
- assumptions on success criteria in PSA
- guesses on future values of variables

## Expert judgement

### NEEDS FOR EXPERT JUDGEMENT IN RISK ASSESSMENTS

- no relevant data for many issues
  - physical phenomena, modelling uncertainty
  - failure data, human error data, CCF-data
  - evaluation of assumptions
  - uncertainty analyses

## Expert judgement

### NEEDS FOR EXPERT JUDGEMENT IN RISK ASSESSMENTS (cont.)

- no validated models
  - physical phenomena (PSA levels 2-3)
  - long term behaviour of nuclear waste repository
  - human reliability
  - software reliability

## Expert judgement

### NEEDS FOR EXPERT JUDGEMENT IN RISK ASSESSMENTS (cont.)

- issues on which there is no consensus between scientists/experts
  - steam explosion
- needs for consistent approach to elicit, analyse, combine and use expert opinions

## Expert judgement

### EXPERTISE

- who is an expert
- NUREG-1150:
  - “An expert is a person who has special skills, training and experience in the subject area and is recognized by his/her peers or those conducting the study”
  - experts should have demonstrated their experience by
    - publications
    - consulting
    - managing research

## Expert judgement

### EXPERTISE (cont.)

- experts should represent a wide variety of experience as obtained in
  - universities
  - consulting firms
  - research institutes
  - industry

## Expert judgement

### EXPERTISE (cont.)

- experts should be knowledgeable about the state of the art
- experts should have a wide perspective of issues
- experts should be willing to have their judgements elicited
- in expert judgement process, there should be wide variety of expertise and different experts

## Expert judgement

### RATIONAL CONSENSUS

- usually, several experts are available
- expert judgement process aims at consensus
- RATIONAL CONSENSUS:
  - reproducibility
  - accountability
  - empirical control
  - neutrality
  - fairness

## Expert judgement

### RATIONAL CONSENSUS (cont.)

- REPRODUCIBILITY
  - possibility to review and reproduce all calculations
  - calculational models must be fully specified
  - reproducibility is essential element of the scientific method
- ACCOUNTABILITY
  - the source of expert subjective probabilities must be identified
  - the decision maker can trace every subjective probability to the name of person or institution from which it comes
  - essential element of the scientific method

## Expert judgement

### RATIONAL CONSENSUS (cont.)

- EMPIRICAL CONTROL
  - experts assessments should be in principle susceptible to empirical control
  - the assessment should be falsifiable in principle
  - essential element of the scientific method
- NEUTRALITY
  - the method for combining/evaluating expert opinion should encourage experts to state their true opinions
  - some methods may encourage experts to give similar assessments that the other experts
  - the process should prevent the experts to game with their assessments

## Expert judgement

### RATIONAL CONSENSUS (cont.)

- FAIRNESS
  - all experts should be treated equally, prior to processing the results of observations
  - most Bayesian approaches require the analysts to assess the reliability of the experts

## Expert judgement

### EXPERT JUDGEMENT PROCESS

#### Participants

- decision maker, the owner of the problem
  - responsible on the decision
  - uses the results of the process for his/her own purposes
- normative experts
  - experts in probability theory and expert judgement methodology
  - guide the process, elicit the assessments for experts, combine the results
- domain experts
  - experts in the subject
  - analyse the issue and assess the variables and uncertainties

## Expert judgement

### EXPERT JUDGEMENT PROCESS

#### Phases

1. Selection of issues
  - in PSA, issues having safety significance
  - issues on which there is no empirical data
2. Selection and training of experts
  - experts with suitable experience and background
  - training includes probability theory, expert judgement methodology etc.



## Expert judgement

### EXPERT JUDGEMENT PROCESS

#### Phases

#### 3. Elicitation of experts assessments

- definition of variables
- definition of elicitation questions
- individual analyses by experts
- expert panels
- expert interviews



## Expert judgement

### EXPERT JUDGEMENT PROCESS

#### Phases

#### 4. Modelling and combination of experts assessments

- direct mixtures of experts distributions
- weighted mixtures
- Bayesian models

#### 5. Sensitivity analyses

#### 6. Discussion and feedback from the experts

- comments from experts

#### 7. Documentation



## Expert judgement

### METHODS AND APPROACHES

- DELPHI-method
  - a group method
  - different versions
- other group techniques
- NUREG-1150 method
  - one of the most extensive approach
  - direct mixtures of experts distributions
  - VTT version of NUREG-1150 (based on Bayesian techniques)
- KEEJAM (Knowledge Engineering Expert Judgement Acquisition and Modelling, JRC-ISIS)
  - explicit knowledge engineering models for experts argumentation

## Decisions

- how to decide when analyses are partially based on expert judgements and include many kinds of uncertainties?
- how to compare analysis results?
- DECISION ANALYSIS:
  - tries to reach the best decision with respect to set of possibly conflicting criteria
  - gives a framework to identify and screen uncertainties and evaluate their significance (value of additional information)
  - uncertainties are treated as expected values
  - expert judgement is inevitable, but explicitly applied in DA
  - DA is not empirical natural science but operations research
  - examples of DA-type of safety analyses: PSA, ROAAM (Risk Oriented Accident Analysis Methodology)

## Conclusions

- uncertainties are an inevitable feature of safety assessment
- qualitative analysis important, probabilistic quantification natural from the decision analytic point of view
- expert judgement always present in models, systematic approaches exist to utilise EJ
- decision criteria determine the significance of uncertainties
- direct comparison of risks and risk analyses difficult, but possible if decision analytic approach is applied
- comparing safety analyses ~ comparing assumptions, background data, evidence  
~ comparing decisions made on the bases of analyses

# Myndigheternas roll gentemot (allmänhet och) industri, Sverige

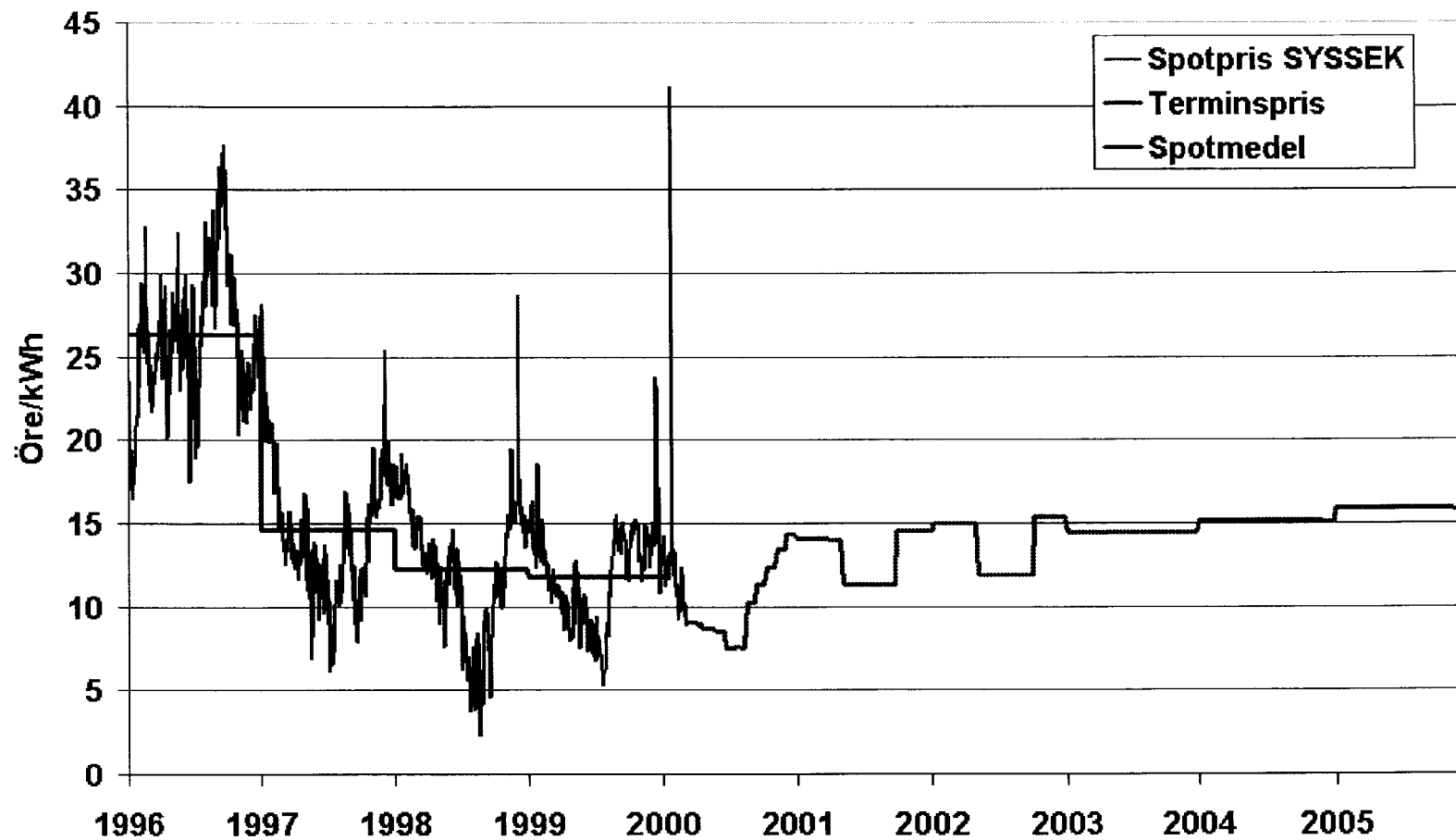
- Representera samhällets och allmänhetens krav på säkerheten
  - Informera om och skapa förtroende för säkerheten
  - Vara pådrivare och kritisk granskare gentemot industrin
  - Besluta att ge respektive återkalla tillstånd för drift och utfärda föreskrifter och villkor
-

# Svensk kärnkraft idag

- Väl fungerande men åldrande reaktorer
  - Stora moderniseringsprogram genomförda
  - Fortsatt modernisering behövs
  - Uppgradering av säkerhetsnivå för fortsatt långsiktig drift
  - Låga elpriser, stor kostnadspress
-

2000-03-07

# Spot & terminspris öre spec



## Ekonomiska ramar

- Börspris på el idag (medel): 12-13 öre/kWh
- Pris till konsument: 15-18 öre/kWh
- Rörlig produktionskostn: 10-13 öre/kWh
- Kapitalkostnader (medel): 5 öre/kWh
- Summa kostnad: 15-18 öre/kWh

# Några slutsatser

- Mycket begränsat utrymme för
- kostnadskrävande åtgärder
- Hård prioritering i D&U-kostnader och investeringsprogram
- Viktigt med stabila och förutsägbara myndighetskrav

# Viktiga punkter beträffande myndighetskrav

- Konsekventa, stabila, förutsägbara
- Tydlig grund i lag och föreskrift
- konsekvenser analyserade och relaterade till nytta
- Mål- och resultatorienterade, inte föreskrivna medel



**A map of values in  
nuclear waste risk assessment**

**K. Andersson**

**Karinta-Konsult, Taeby, Sweden**

<b>Kärnavfallsfrågan</b>	<b>Vi vill</b>
Många discipliner	Bästa möjliga beslutsunderlag
Värderingar	Transparens
Långvarig och komplex process	Tydlig beslutsprocess som går att påverka
Experter dominerar	Medborgerligt deltagande
Experter har egna värderingar	Förtroende (måste prövas) , transparens
Risk för fragmentering och polarisering	Bästa möjliga beslutsunderlag  ”god beslutsmiljö”

Risk assessment factors	Arguments about waste management method	Criteria and safety analysis
Potential damage	<p>Wait for new technical solutions</p> <p>(e.g. transmutation) that can minimise the danger)</p>	<p>Individual risk should be lower than <math>10^{-6}</math></p> <p>Radiation protection should be optimised</p> <p>A small dose to a small group is worse than an even smaller dose to a larger group.</p>

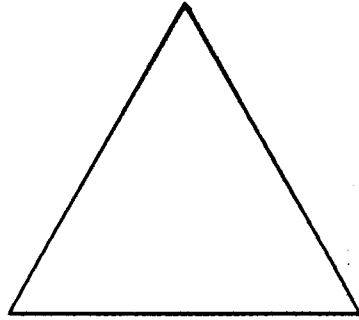
<p><b>Time distribution of damage</b></p>	<p>Short term doses are worthwhile in order to minimise long term risk (argument for waste treatment and e.g. transmutation)</p>	
	<p>The time span of ice ages is relevant for risk assessment</p> <p>(argument against KBS-3)</p>	<p>The time span of ice ages is relevant</p> <p>(argument for research on ice age hydrology etc)</p> <p>The time span of ice ages is irrelevant</p> <p>(argument for simplified safety analysis)</p>

<p>Controllability (by self or trusted expert) of consequences</p>	<p>The waste must not be retrievable (argument for disposal in very deep boreholes)</p> <p>The waste should be retrievable and under surveillance (argument against KBS-3)</p> <p>It should be possible to inspect and repair a repository</p> <p>(argument against backfilling and closing)</p>	<p>SSI: the industry should show how measures enhancing the possibilities for future generations to inspect and repair the repository (or retrieve the waste) could have a harmful effect on safety.</p>
<p>Social distribution of risks and benefits</p>	<p>The waste should be distributed between communities according to possibilities and use of electricity.</p>	<p>Involuntary risk should be avoided (argument against land transport)</p>

<p><b>Voluntary or involuntary risk</b></p>	<p>Nuclear power should be phased out to minimise amounts of waste</p> <p>(argument against nuclear power)</p>	<p>The protective capability of a repository <b>after human intrusion should be analysed.</b> (SSI regulation)</p> <p>Consequences of human intrusion need not to be analysed (safety assessment “practice”)</p>
---	--	--

## *The RISCOT model for transparency*

Technical and scientific issues



Normative  
issues

Authenticity of  
stakeholders  
and experts  
(no hidden agenda)

### Transparency requires

- appropriate procedures
- "stretching"
- public involvement

	<b>Förmåga att utvärdera sakskäl</b>	<b>Förmåga att utvärdera värde- argument</b>	<b>Förmåga att utvärdera aktörernas autenticitet</b>	<b>Stretching -förmåga</b>
<b>Paraplyprocesser</b>				
<b>"Inquiry" (UK)</b>	<b>Ja</b>	<b>Nej</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
<b>Strategisk miljöbedömning</b>	<b>Ja</b>	<b>Potential</b>	<b>Potential</b>	<b>Potential</b>
<b>MKB-Forum</b>	<b>Ja</b>	<b>Potential</b>	<b>Potential</b>	<b>Potential</b>
<b>Oskarshamns- modellen</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>



<b>Andra procedurer</b>				
<b>Expertkommitté</b>	<b>Ja</b>	<b>Nej</b>	<b>Nej</b>	<b>Nej</b>
<b>Science court</b>	<b>Ja</b>	<b>Nej</b>	<b>Ja</b>	<b>Nej</b>
<b>”Team Syntegrity”</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja (ej offentligt)</b>	<b>Ja</b>
<b>Dialog</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja (ej offentligt)</b>	<b>Ja</b>
<b>Vetenskapsbutik</b>	<b>Ja</b>	<b>Nej</b>	<b>Nej</b>	<b>Nej</b>
<b>Konsensuskonferen s</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nej</b>	<b>Nej</b>
<b>Lekmannapanel</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nej</b>	<b>Nej</b>

# **Forskningsfrågor**

- **Hur kan etablera former för transparens i offentligt beslutsfattande?**

**Vilken skulle vara experternas roll?**

**Vilken skulle vara medias roll?**

**Hur kan allmänheten engageras?**

- **Hur kan vi utvärdera olika procedurer? kriterier?**

• **Vilken är informationsteknikens roll?**  
**Den är ett nytt verktyg med stor potential, men hur ska den användas?**

- **Hur kan MKB och SMB användas?**

# **EXPERTENS RISKUPPFATTNING**

**PRESENTATION VID NKS/SOS-1 SEMINARIUM  
RISKANALYS, RISÖ, 22-23 mars, 2000**

**BRITT-MARIE DROTTZ SJÖBERG  
PSYKOLOGISK INSTITUTT  
NTNU**

# ÖVERSIKT AV PRESENTATIONEN

- GENERELLT OM ARBETSSÄTT; METODIK
- BAKGRUND I TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR
- RESULTAT RELATERADE TILL EXPERTERS  
RISKUPPFATTNINGAR
  - SUMMERING

# **RESULTAT RELATERADE TILL EXPERTERS RISKUPPFATTNINGAR**

**SYFTE: Hur experter och allmänhet såg på varandras  
(nukleära och strålningsrelaterade) uppfattningar**

**Utgångspunkt: Att riskkommunikation underlättas om alla  
inblandade parter har korrekta uppfattningar om de andras  
uppfattningar; "mutual risk perception", "reflected & social  
beliefs"**

**Design: Frågeformulär med uppgifter: 466 (allm) & 385 (exp)**

**Urval av svenska allmänheten: 750 personer (18-75 år) 65%**

**Urval svenska experter: 84 personer 69% svar**

# **ARBETSSÄTT; METODIK**

**# Problematik, frågeställningar**

**# Design (en/flera enkäter/delgrupper, etc)**

- \* Intervjuer och/eller fokusgrupper**

- \* Frågeformulär**

- \* Stora, slumpmässiga urval**

**# Analyser**

- \* Svarsfördelningar, sambandsmått**

- \* Faktor- regressionsanalyser; modellering**

**# Tolkningar**

- \* Tidigare resultat, hypoteser, diskrepanser**

# **BAKGRUND I TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR**

- **Riskdimensioner**
- **Bakgrundsfaktorernas betydelse**
  - **Allmän och personlig risk**
  - **Krav på riskminskning**
- **Attityd till kärnkraft och djupförvar**
  - **Allmänhet och politiker**
  - **Tid- och djupdimensioner**

---

## INFLUENCING FACTORS

---

RISK ACCEPTANCE

(STARR, 1969)

VOLUNTARINESS

MAGNITUDE OF CONSEQUENCES

RISK TAXONOMY

(SLOVIC, ET. AL. 1978)

### 1. "DREAD RISK" FACTOR

- CATASTROPHIC POTENTIAL
- SIZE OF CONSEQUENCES
- EMOTIONAL REACTION
- VOLUNTARINESS
- CONTROLLABILITY

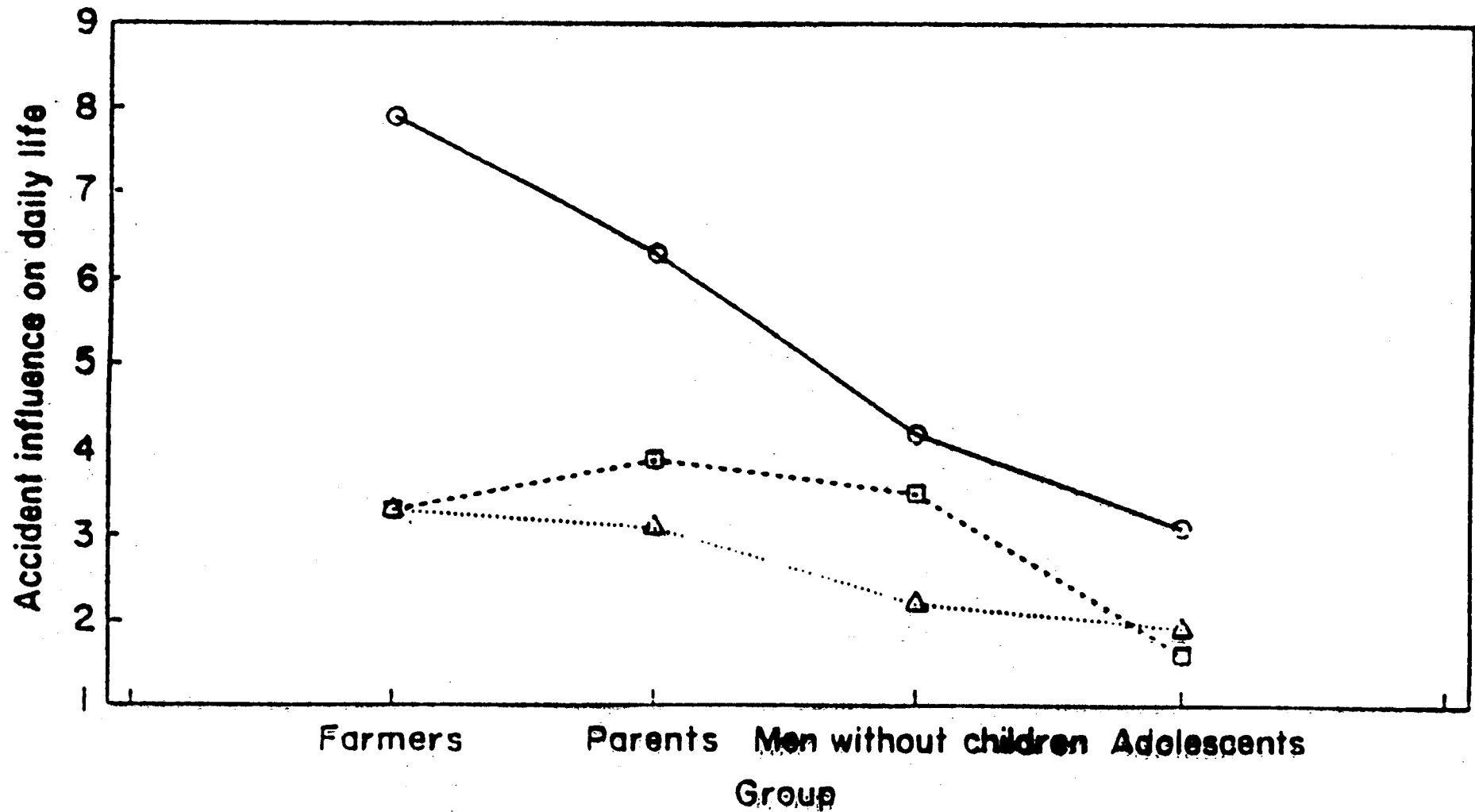
### 2. "UNKNOWN RISK" FACTOR

- NOVEL
- UNFAMILIAR
- NON-OBSERVABLE
- LITTLE KNOWN TO SCIENCE
- DELAYED ONSET OF EFFECTS

### 3. "NUMBER OF EXPOSED" FACTOR

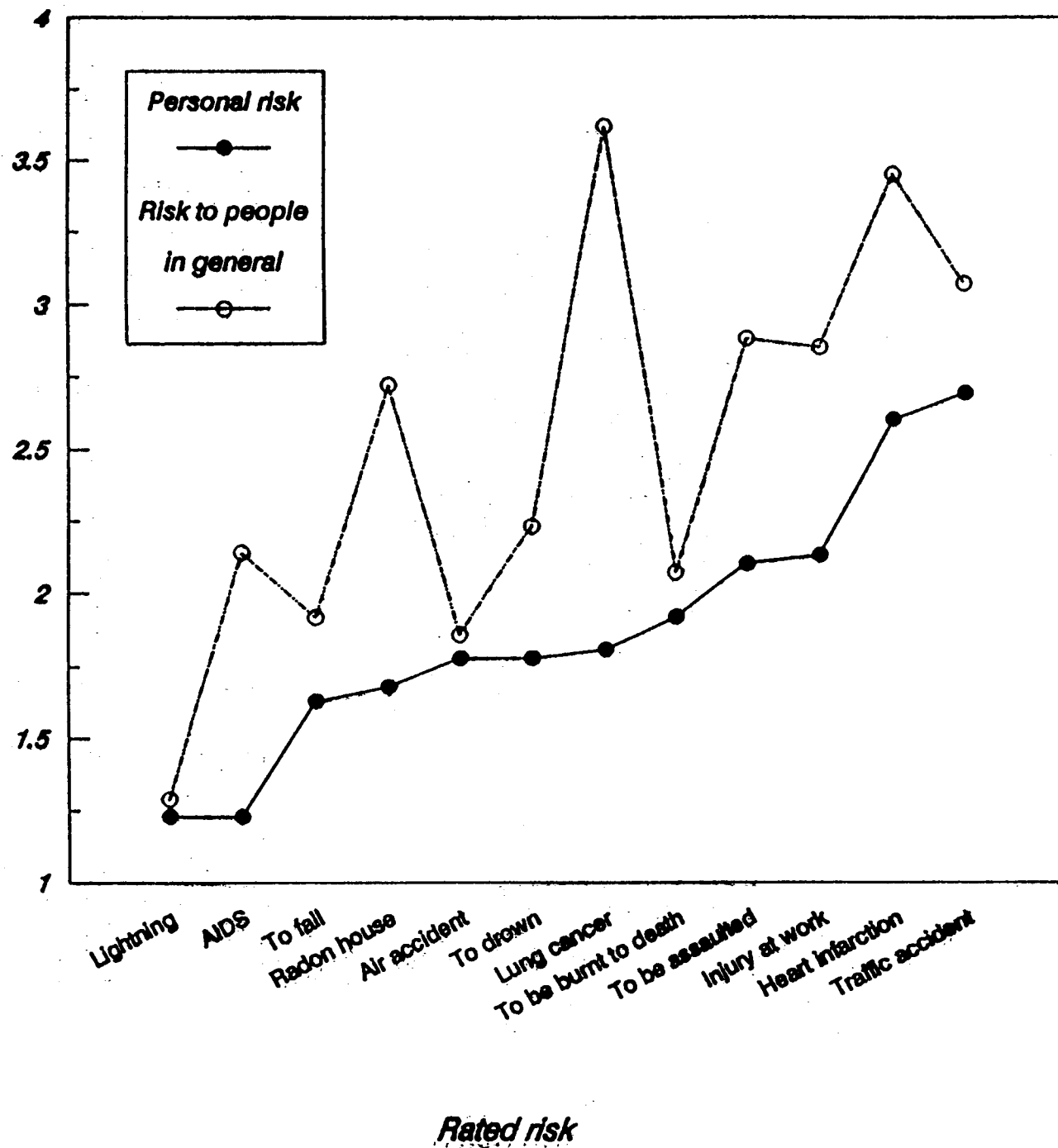


## Risk Perception and Worries



Perceived influence on daily life from the Chernobyl accident, in different groups and regi  
—○— = Gävle; --□-- = Stockholm; ...△... = Bohuslän.

*Mean value*



## **VAD DRIVER KRAV PÅ RISKREDUKTION?**

TRADITIONELLT OMBEDS MÄNNISKOR UPPSKATTA "RISKEN" OCH ATT  
UPPLEVD RISK, DEFINIERAD PÅ DETTA SÄTT, STYR KRAV PÅ RISKMINSKNING

*UNDERSÖKNING AV L. SJÖBERG (1994)*

BEDÖMNING AV

- **SANNOLIKHET (PROBABILITY)**
- **SKADORNAS OMFATTNING (SEVERITY)**
  - **RISK**
  - **KRAV PÅ RISKMINSKNING**

**Table 1. Correlations between risk ratings, general risk. Values in brackets are medians of individual correlations.**

	Consequences	Probability	Risk level
Risk level	-0.067 (0.020)	0.966 (0.594)	-
Demanded risk reduction	0.813 (0.499)	0.093 (0.091)	0.169 (0.125)

**Table 2. Correlations between risk ratings, personal risk. Values in brackets are medians of individual correlations.**

	Consequences	Probability	Risk level
Risk level	-0.198 (-0.009)	0.758 (0.674)	-
Demanded risk reduction	0.953 (0.450)	0.178 (0.158)	0.207 (0.157)

**Table 3. Regression analysis, risk tolerance, general.**

Independent variable	B coefficient	p value
Risk level	-.004	ns
Consequences	.786	<.0005
Probability	.354	ns
Voluntariness	-.874	.001
Control	.662	.011
Multiple R <sup>2</sup>	.770	

**Table 4. Regression analysis, risk tolerance, personal.**

Independent variable	B coefficient	p value
Risk level	-.355	ns
Consequences	.913	<.0005
Probability	.793	.042
Voluntariness	-.265	ns
Control	.286	ns
Multiple R <sup>2</sup>	.736	

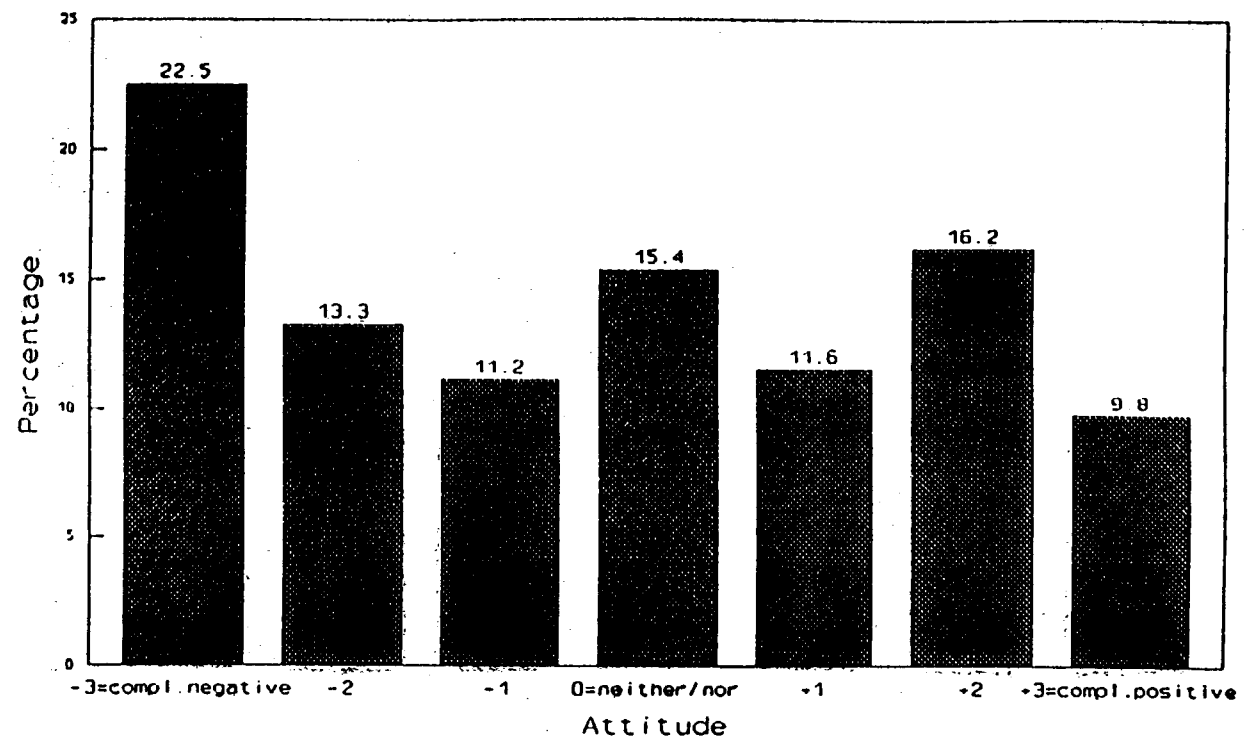
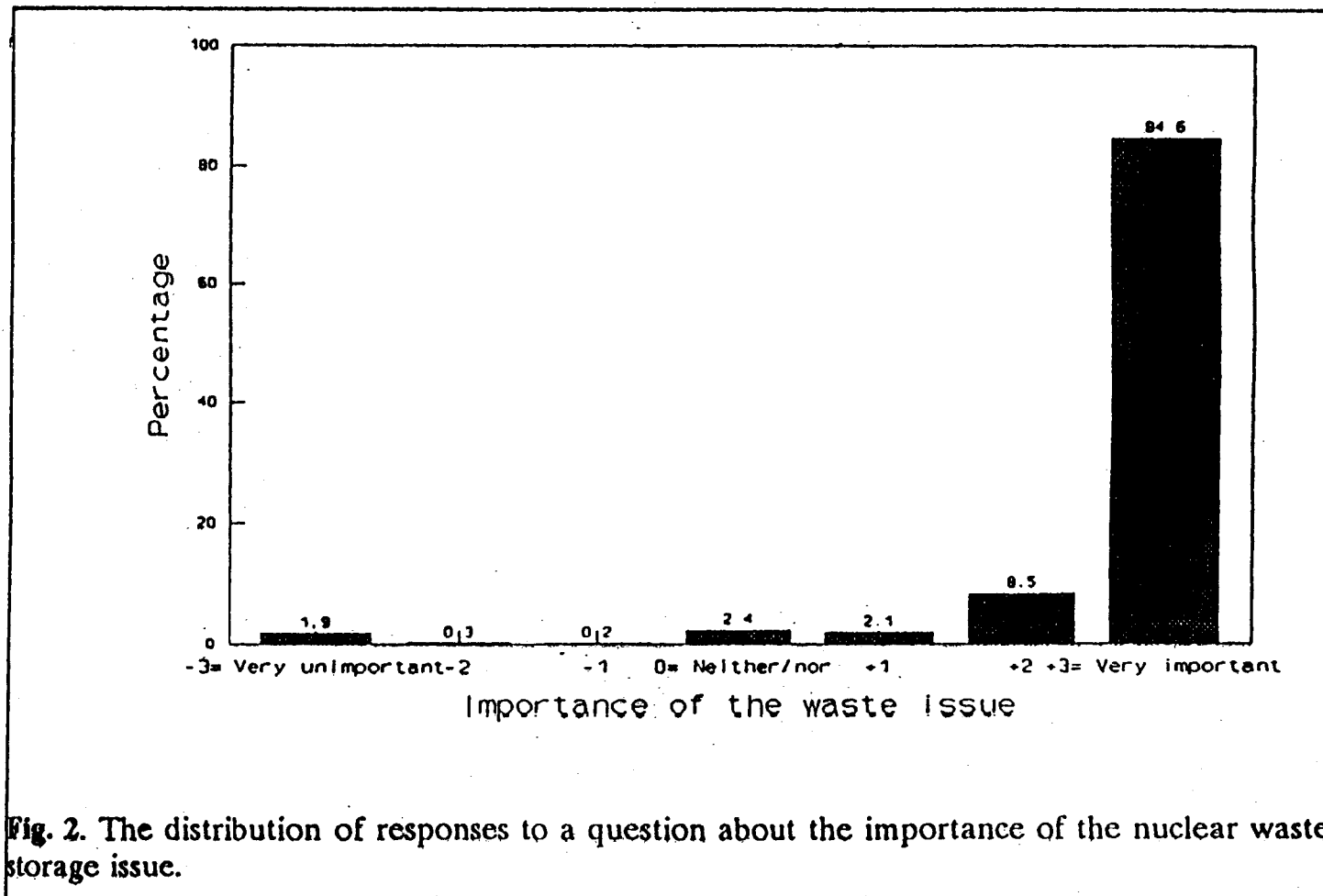
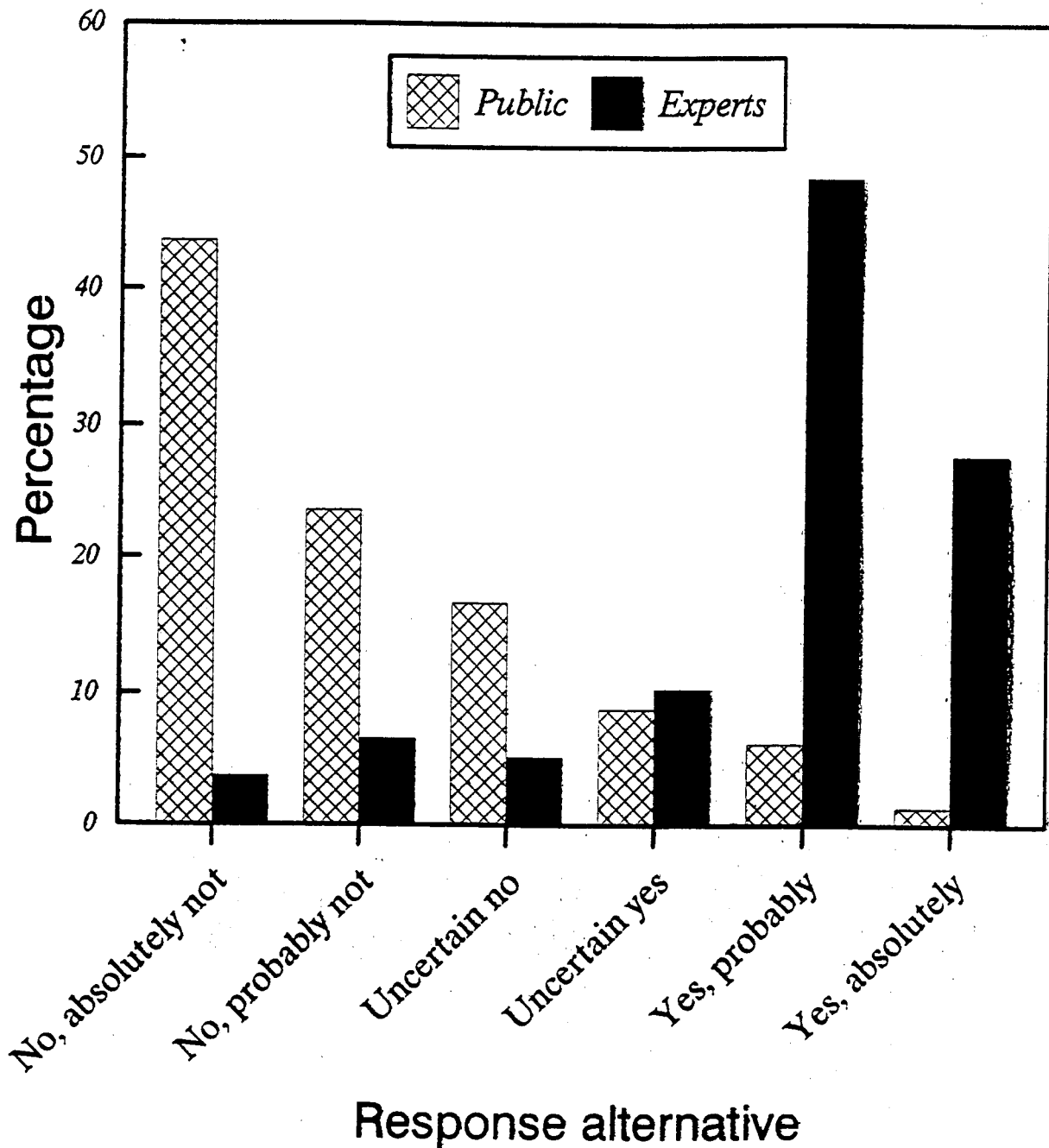


Fig. 1. The distribution of responses to the nuclear attitude question.



Responses by the public and experts  
to a question whether the problem of nuclear  
waste storage has been satisfactorily solved



## Global attitude to nuclear power

Percent of the respondents

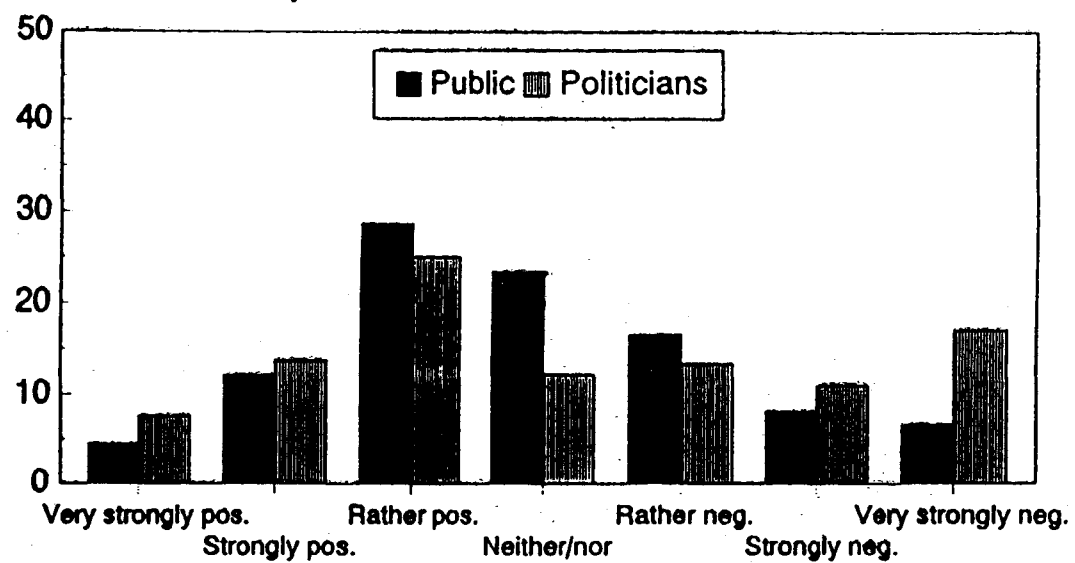
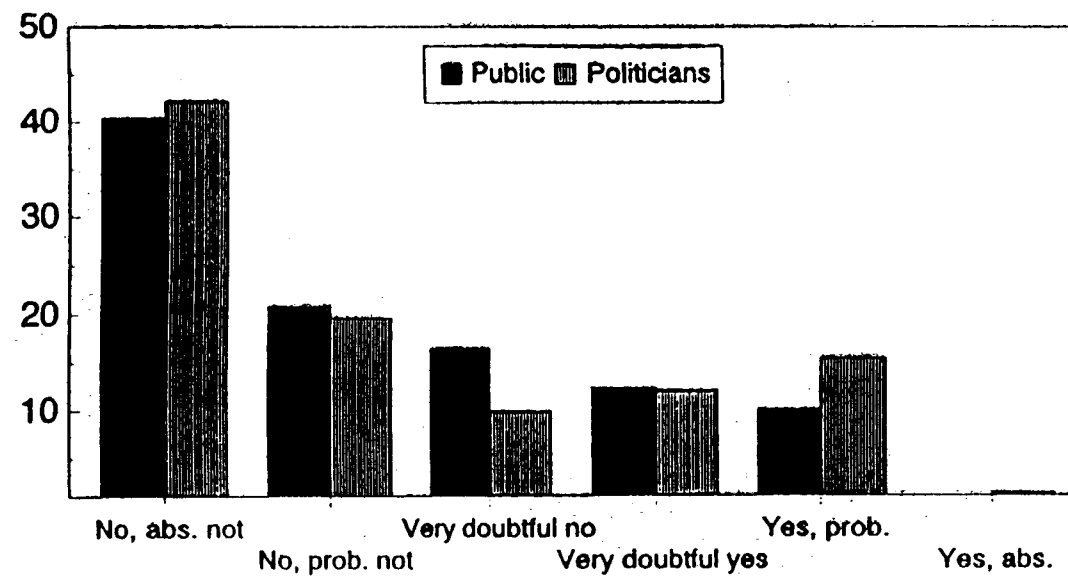


Figure 9. Attitude to nuclear power.



**Is there now a satisfactory solution to the problem of storing high level nuclear waste?**

**Percent of the respondents**



**Figure 11.** A comparison of politicians and experts with regard to attitude to a solution for storing nuclear waste.

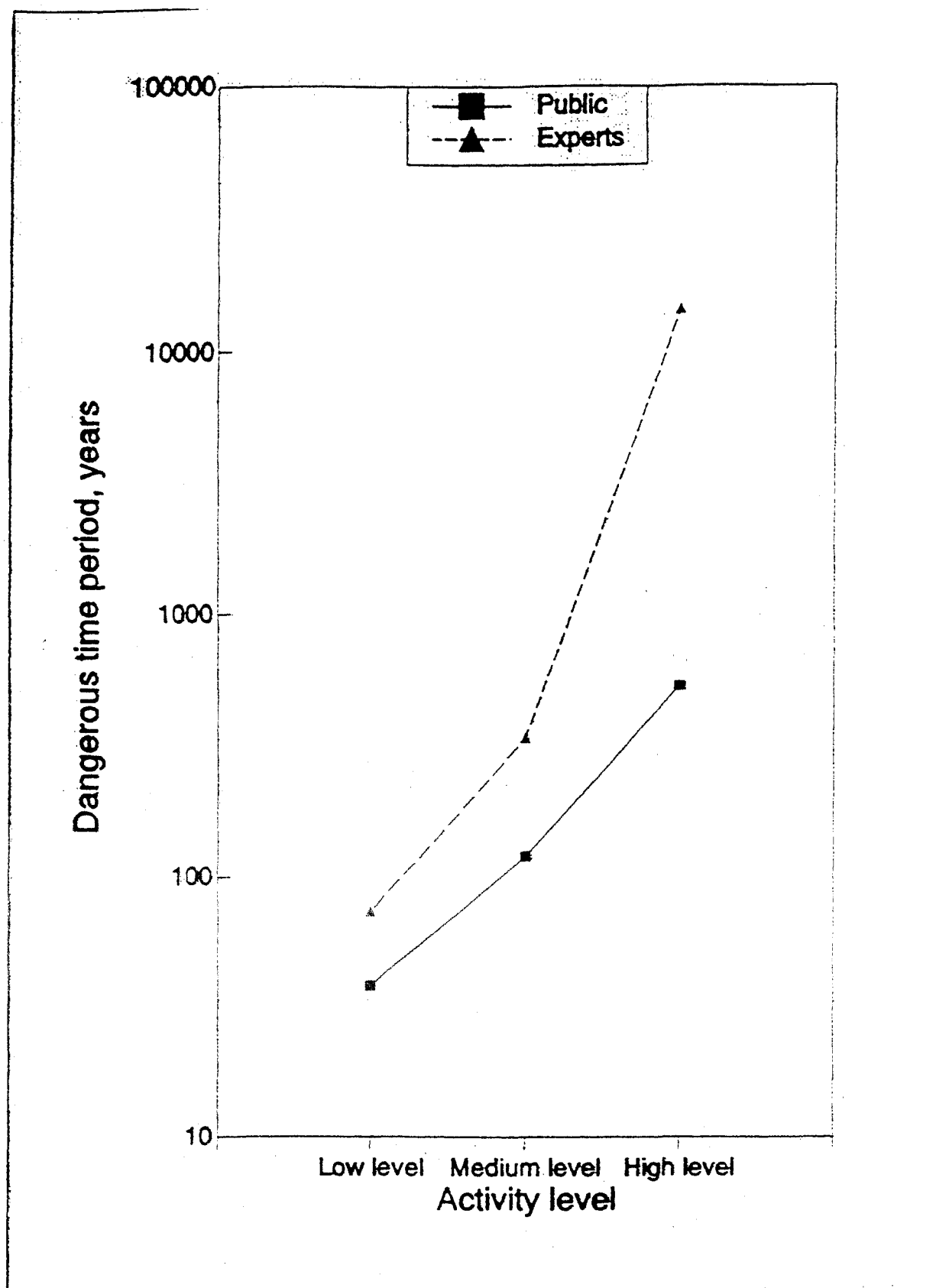


Figure 22. Judged time of danger of different levels of nuclear waste; experts and the public.

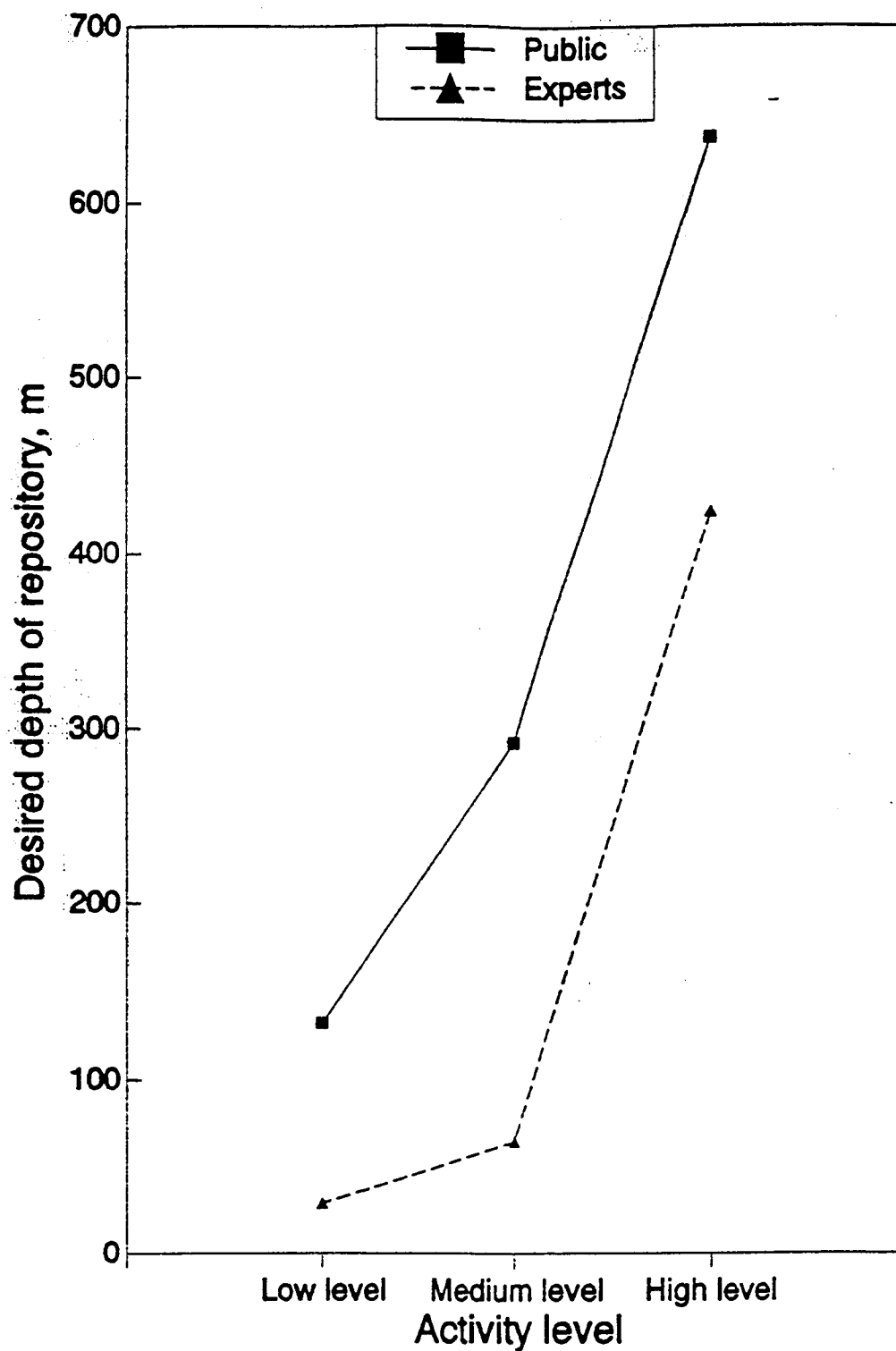


Figure 23. Judged desired depth in rock of a waste repository; experts and the public.

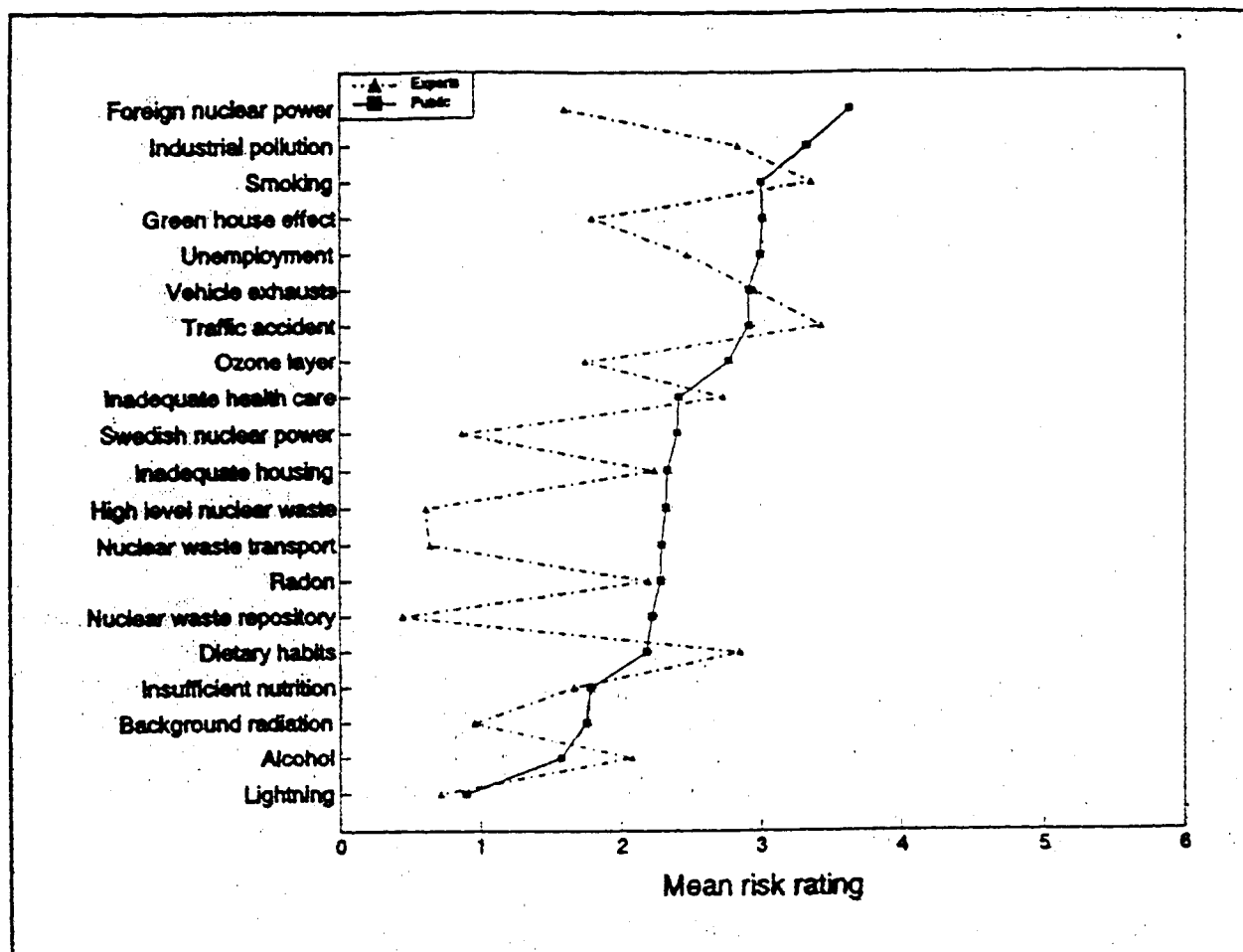


Figure 20. Personal risk: experts and the public.

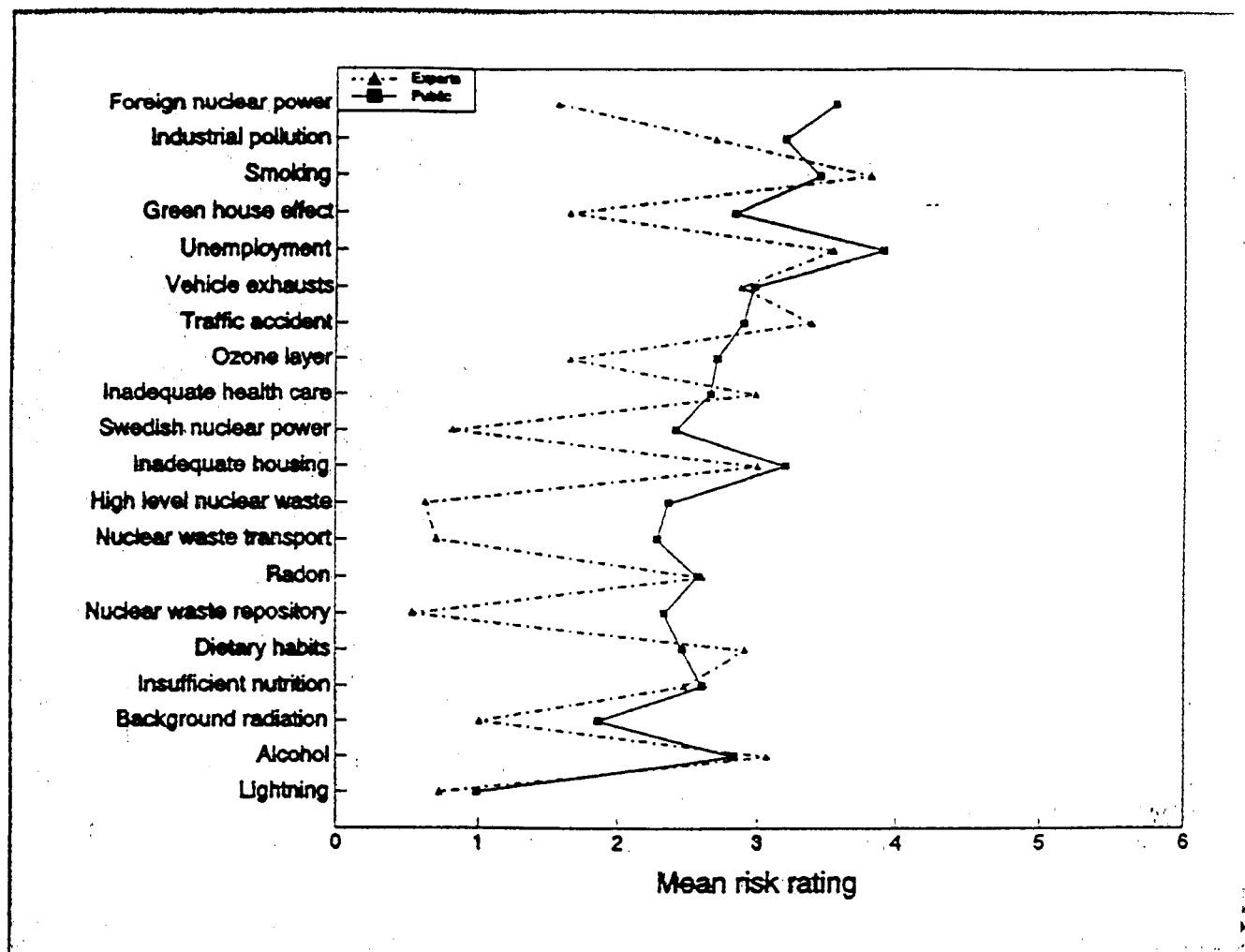


Figure 21. General risk: experts and the public.

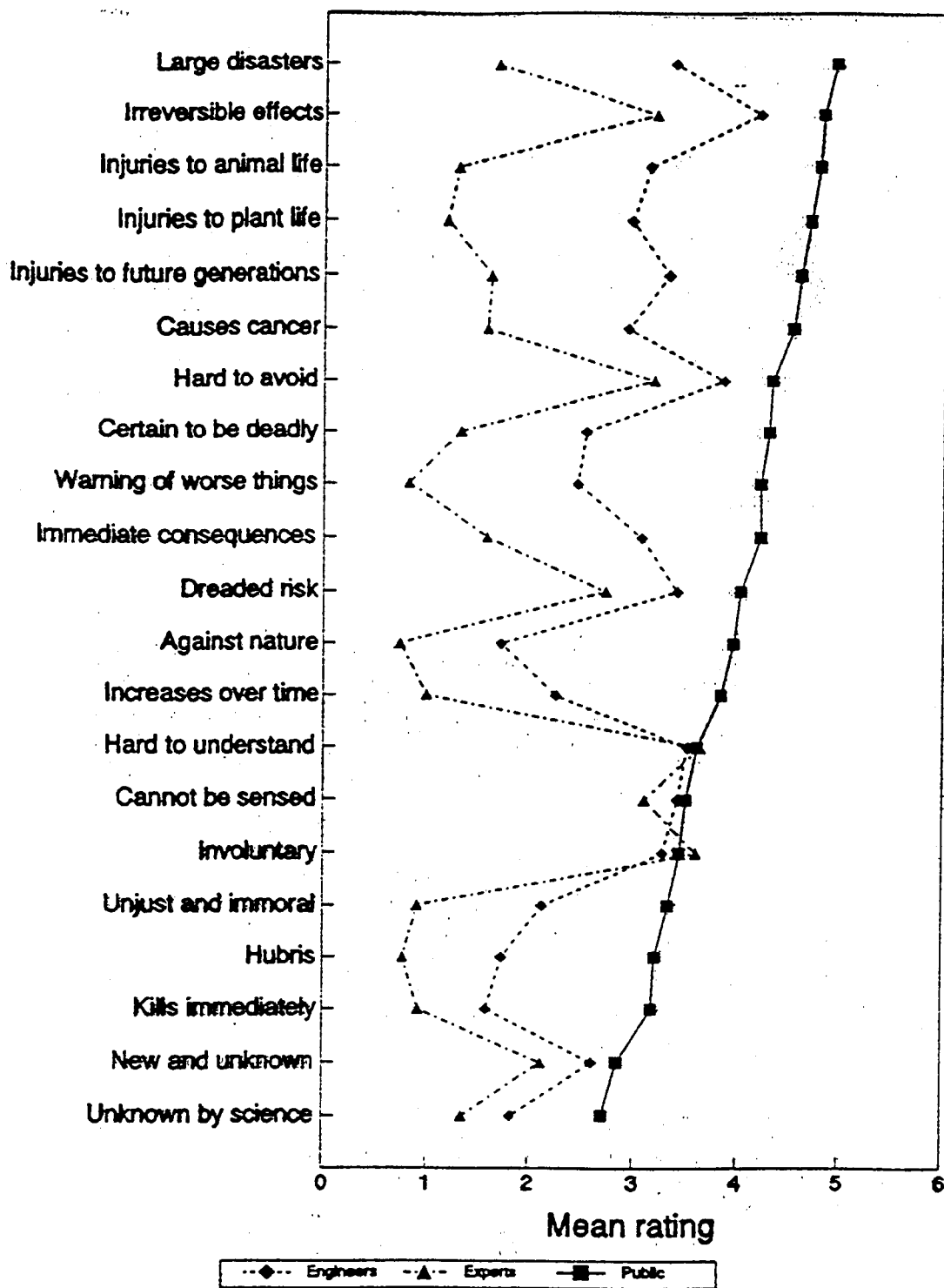
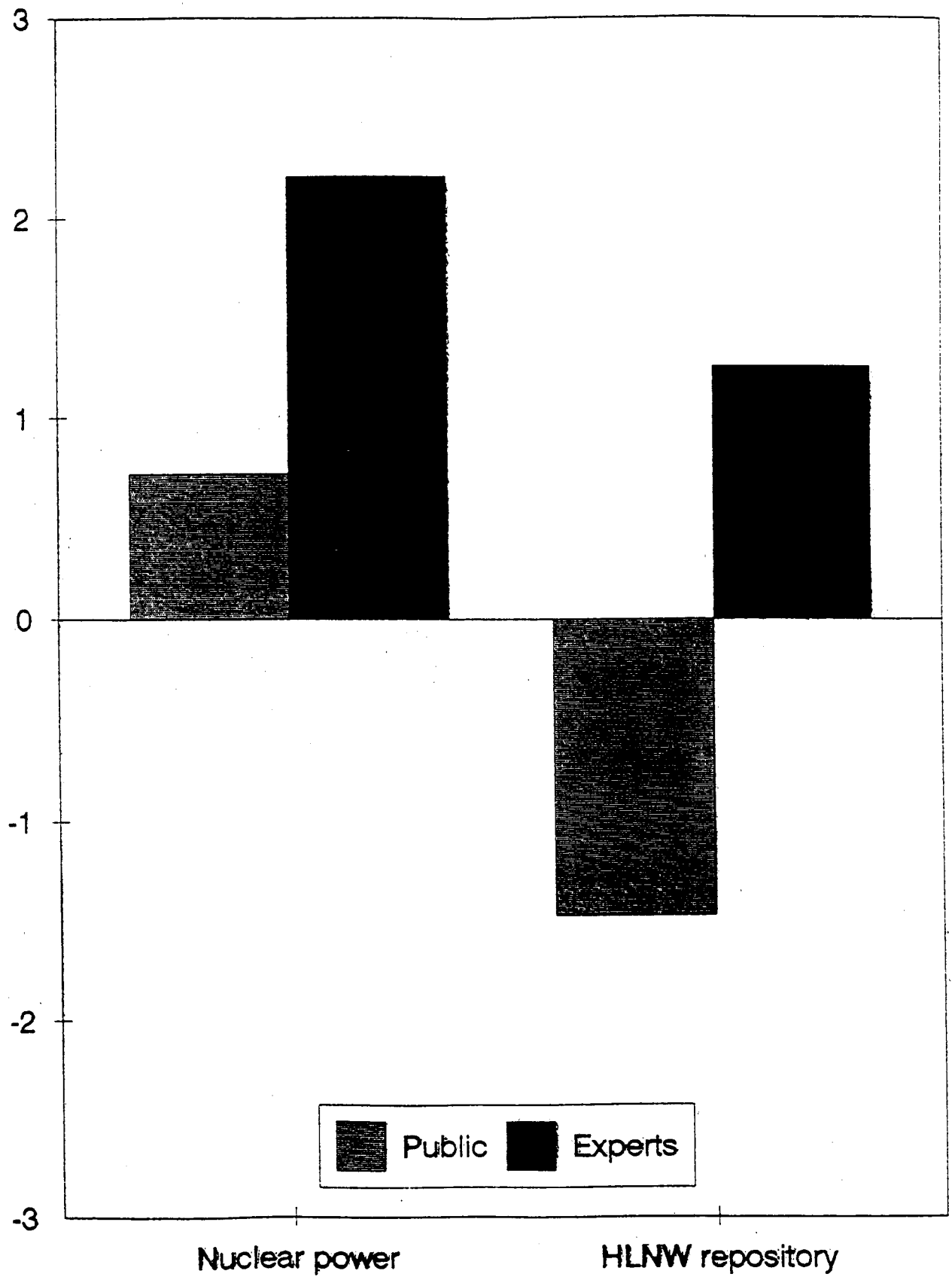


Figure 16. The 21 risk dimensions of nuclear waste judged by experts and the public.

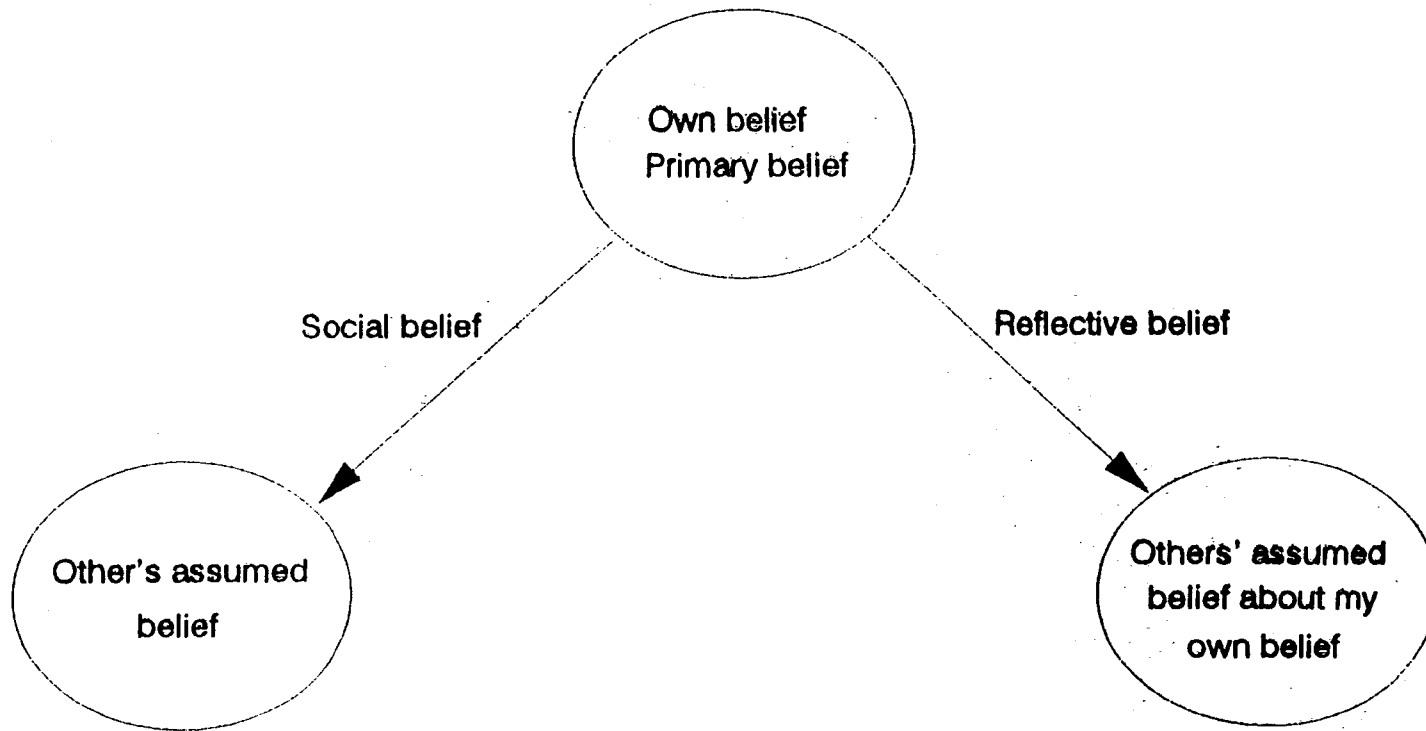
# Mean attitude



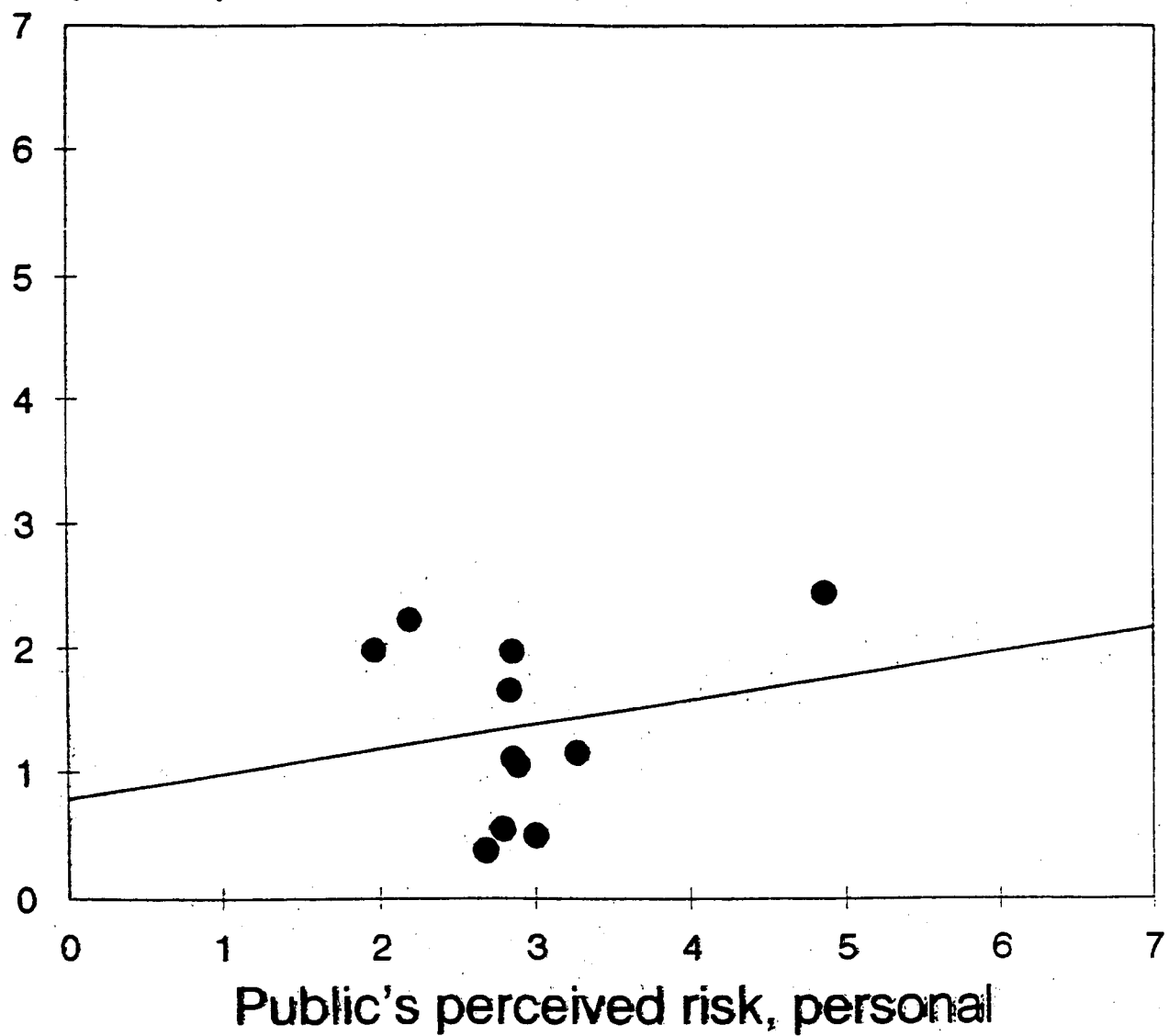
**Table 2. Means of attitude (good-bad), perceived risk and benefit of energy production systems (scale 1-7)**

System	Attitude		Risk		Benefit	
	Public	Experts	Public	Experts	Public	Experts
Hydro	5.66	5.91	1.44	1.47	4.89	5.45
Coal	2.56	2.50	4.21	4.16	3.09	3.80
Nuclear power	3.99	5.41	4.00	2.03	4.56	5.31
Oil	3.21	2.67	3.92	3.74	3.75	4.00
Natural gas	4.31	3.88	3.23	3.38	4.14	4.15
Bio mass	4.67	4.02	2.47	2.83	4.04	3.51
Wind	5.78	4.57	0.87	1.36	4.26	2.94



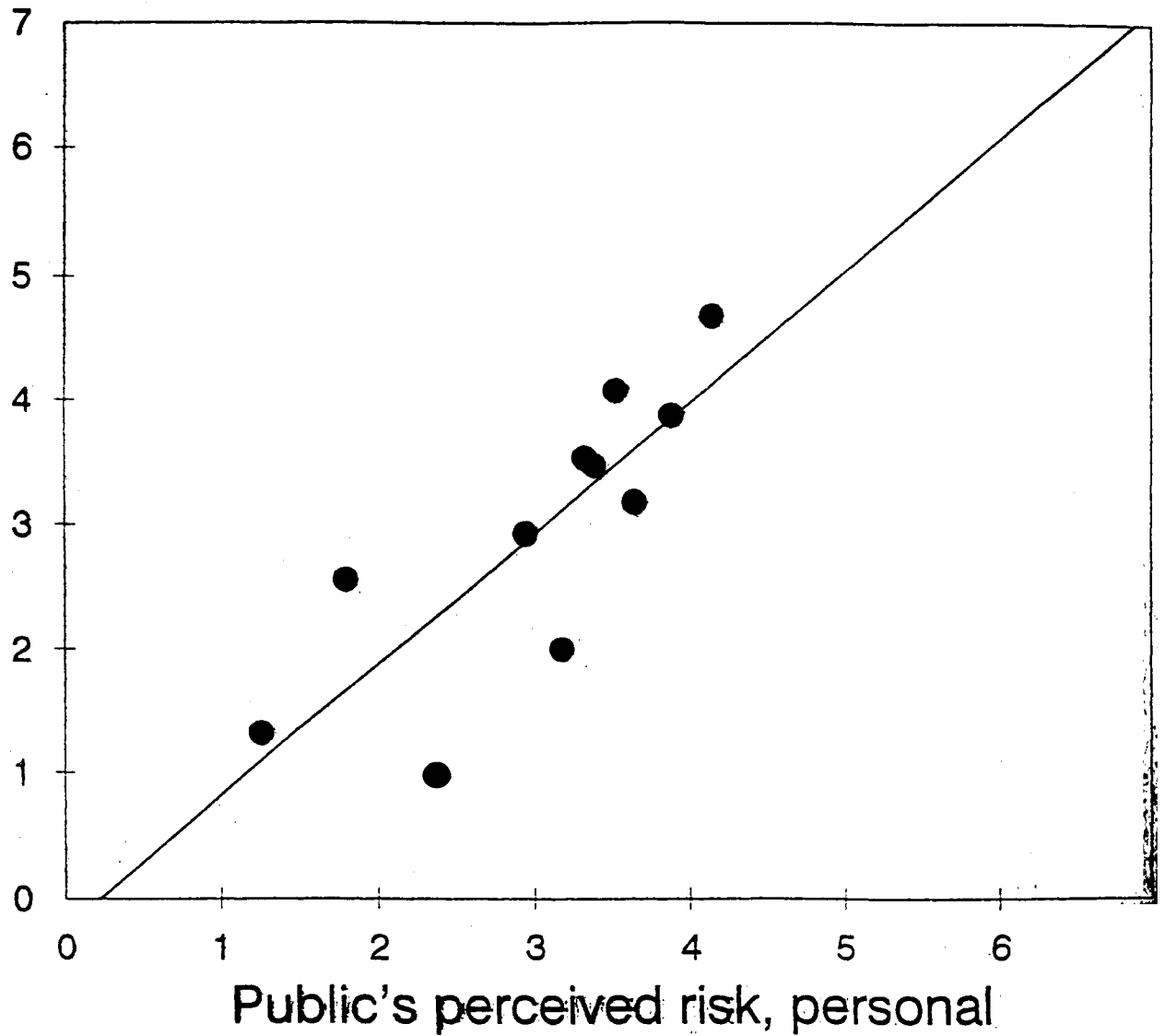


Experts' perceived risk, personal



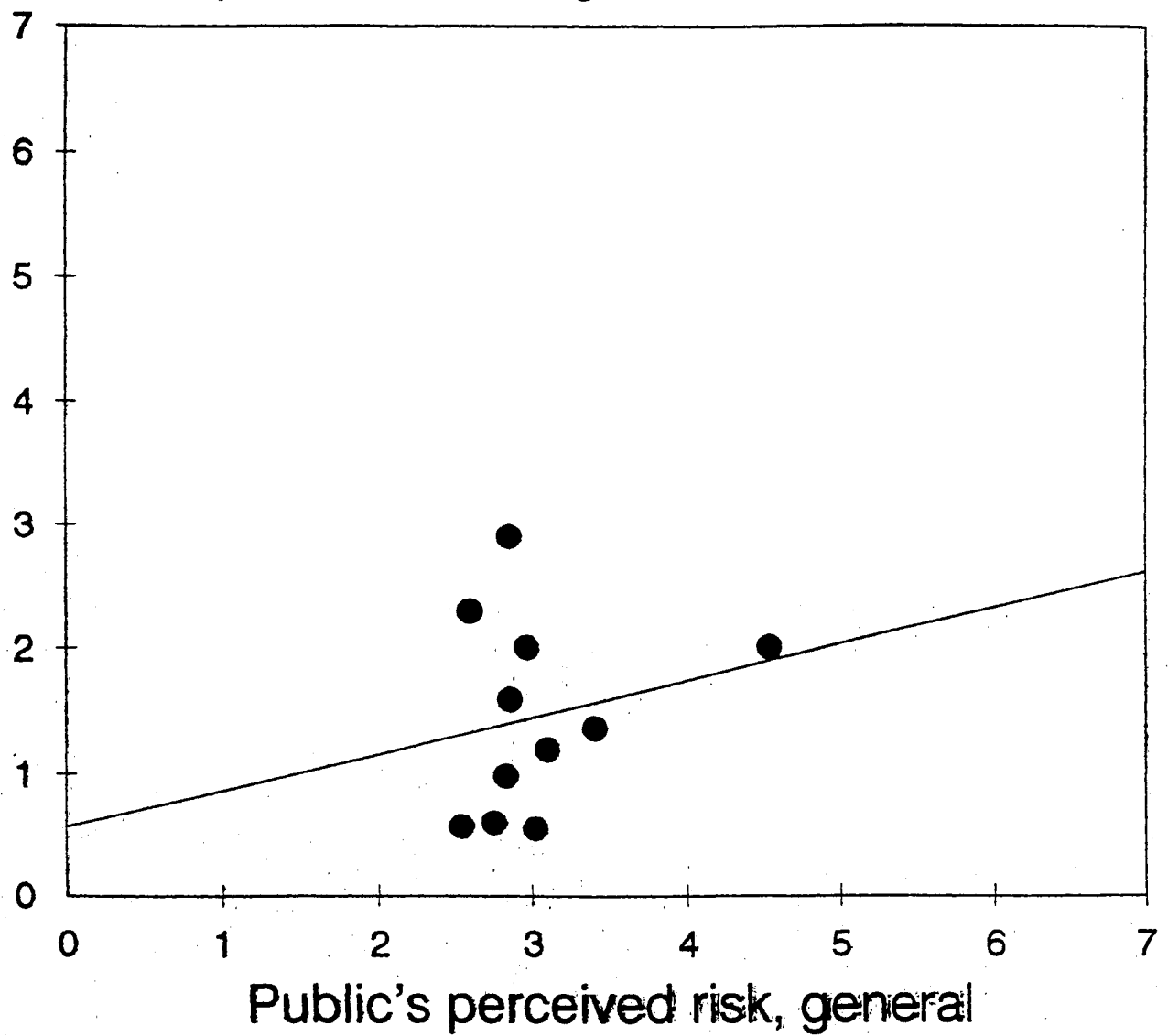
Nuclear and radiation hazards

## Experts' perceived risk, personal



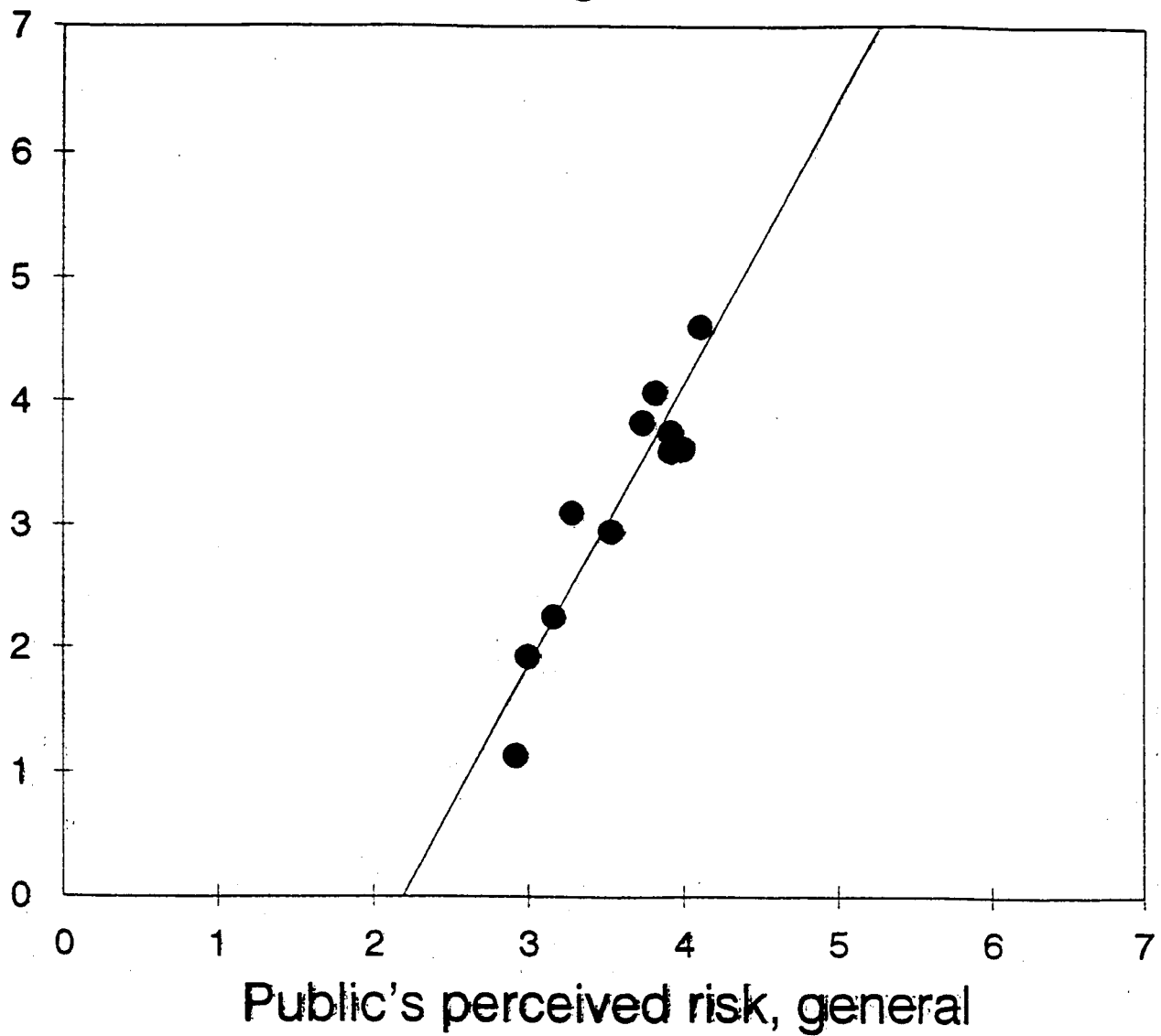
Non-nuclear, non-radiation hazards

# Experts' perceived risk, general



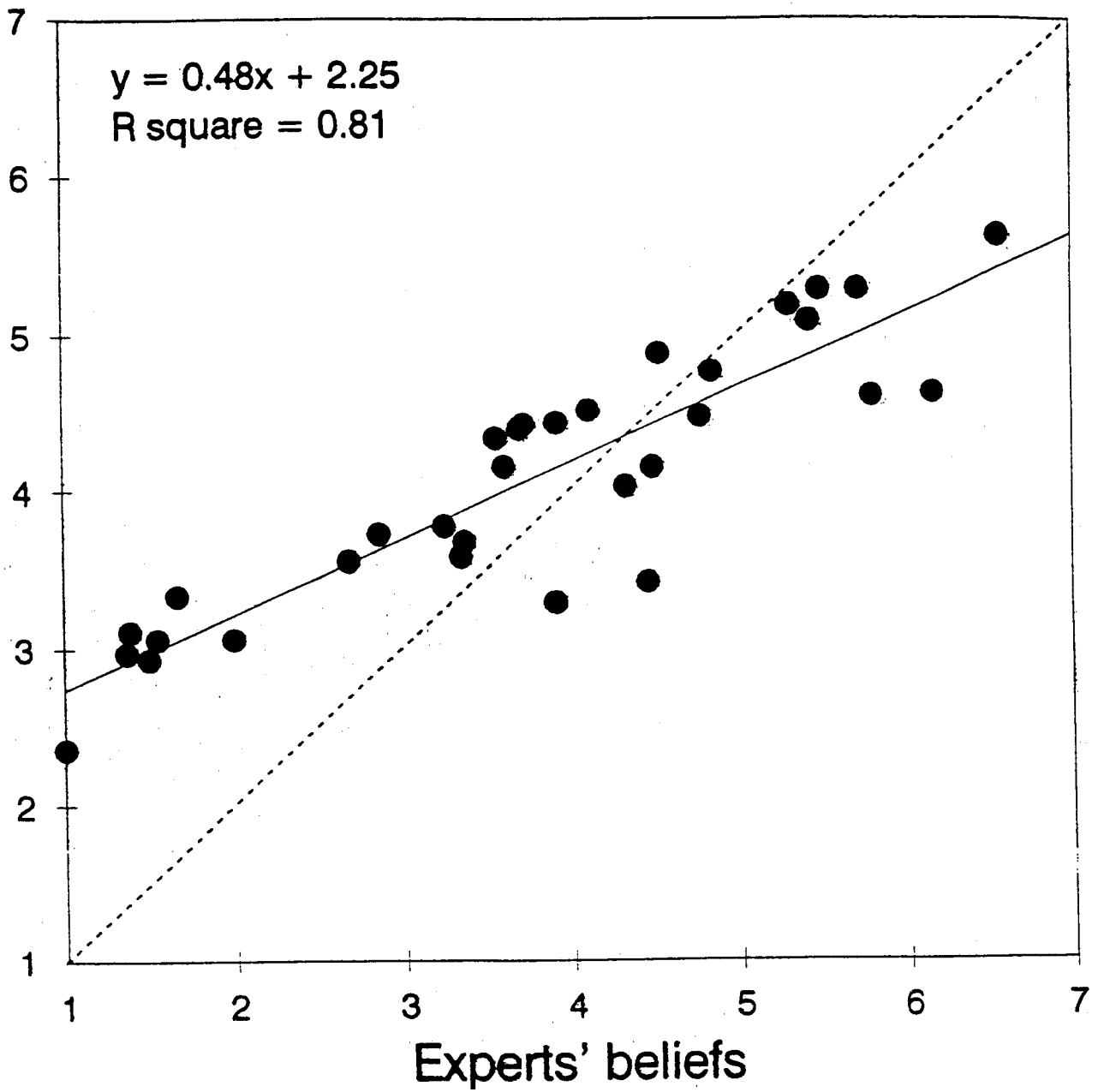
Nuclear and radiation hazards

# Experts' perceived risk, general

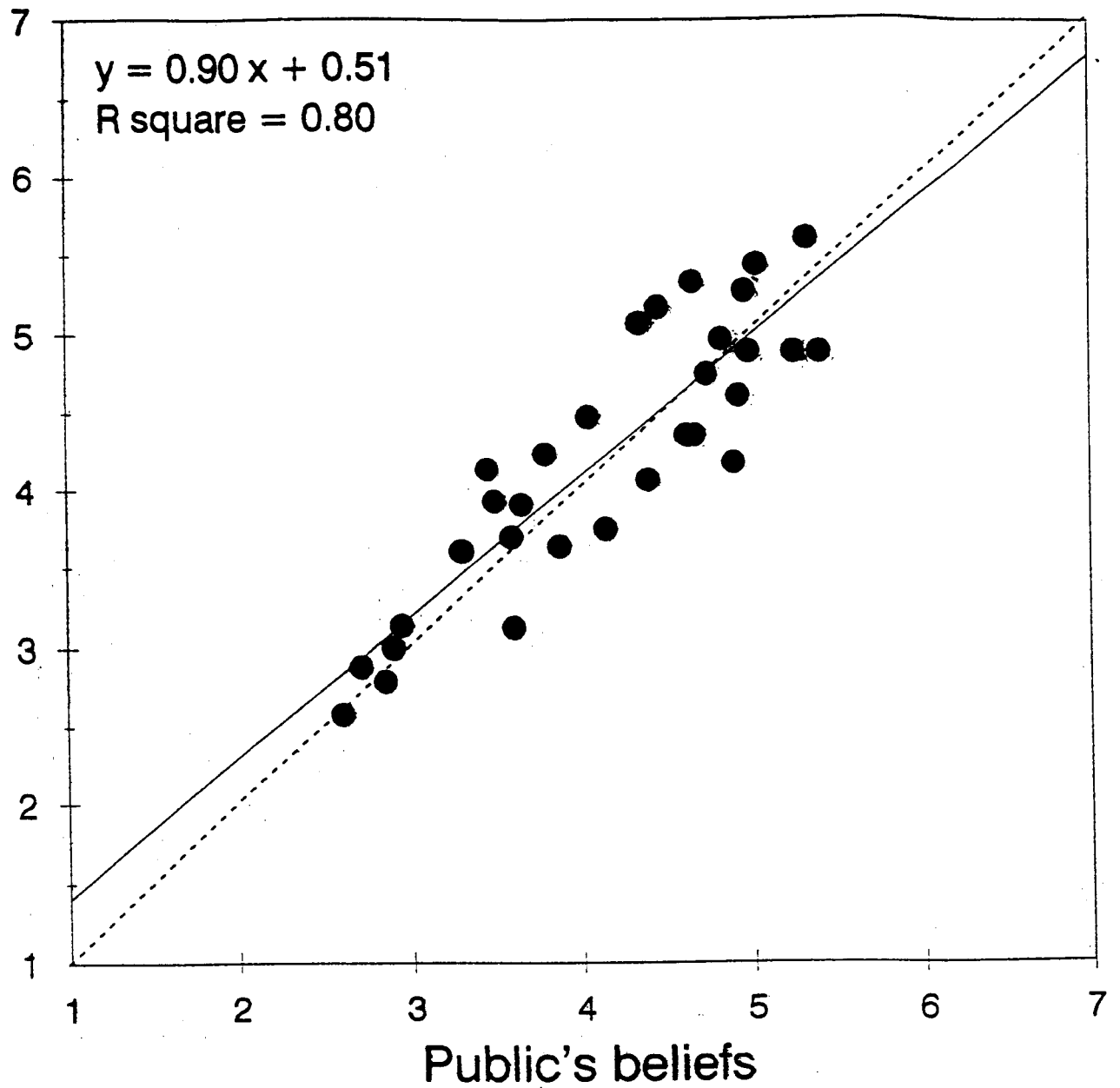


Non-nuclear, non-radiation hazards

# Publics' beliefs about experts' beliefs



# Experts' beliefs about public's beliefs



# SUMMERING

- GENERELLT

- SPECIFIK STUDIE



### **3 TYPER AV RELATIONER MELLAN EXPERTER OCH ALLMÄNHET**

#### **1. GANSKA BRA ÖVERENSSTÄMMELSE**

- VANLIGA, OFTA FÖREKOMMANDE HÄNDELSER
  - FREKVENT MEDIABEVAKNING
  - PERSONLIG ERFARENHET
- # VÄLKÄNT**

#### **2. EXPERTER VARNAR – LÅGT ALLMÄNT INTRESSE**

- LÅNG-TIDS HÄLSOEFFEKTER
  - LIVS-STILAR
  - PERSONLIGT ANSVARSOMRÅDE
- # PRIVAT**

#### **3. EXPERTER BEDÖMER RISKER SOM SMÅ – ALLMÄNHETEN UPPFATTAR DEM SOM STORA**

- EJ FREKVENTA HÄNDELSER
  - RISK BASERAS PÅ TEORETISK ANALYS ELLER EXTRAPOLATIONER
- # OSÄKERHET;**

**HÄNDELSER AV LÅG SANNOLIKHET & OMFATTANDE KONSEKVENSN**

## **RISKUPPFATTNING: EXPERTER OCH ALLMÄNHET**

- **Riskuppfattning var en primär förklaringsfaktor för attityd till energiproduktion för såväl experter som allmänhet; mest för allmänhet**
- **”Kärnenergiexperter” uppfattade kärnenergirisker som mycket lägre än vad allmänheten gjorde**
- **Experternas uppfattning om allmänhetens riskuppfattning stämde väl med data**
- **Allmänheten underskattade kraftigt experternas uppfattning**
- **Experterna var delvis medvetna om allmänhetens bias**
- **Allmänhetens uppfattning om hur experterna såg deras riskuppfattning stämde väl med data**

Title	NKS/SOS-1 Seminar on Safety analysis. Report from a seminar held on 22-23 March 2000. Risø National Laboratory, Roskilde, DK.
Author(s)	Kurt Lauridsen, Kjell Andersson, Urho Pulkkinen
Affiliation(s)	Risø National Laboratory, Karinta-Konsult, VTT Automation
ISBN	87-7893-085-5
Date	2 May 2001
Project	NKS/SOS-1
No. of pages	12 + 3 appendices
No. of tables	
No. of illustrations	
No. of references	
Abstract max. 2000 characters	<p>The report describes presentations and discussions at a seminar held at Risø on March 22-23, 2000. The title of the seminar was NKS/SOS-1 – Safety Analysis. It dealt with issues of relevance for the safety analysis for the entire nuclear safety field (notably reactors and nuclear waste repositories). Such issues were: objectives of safety analysis, risk criteria, decision analysis, expert judgement and risk communication. In addition, one talk dealt with criteria for chemical industries in Europe.</p> <p>The seminar clearly showed that the concept of risk is multi-dimensional, which makes clarity and transparency essential elements in risk communication, and that there are issues of common concern between different applications, such as how to deal with different kinds of uncertainty and expert judgement.</p>
Key words	nuclear safety, nuclear waste disposal, safety analysis, safety criteria, risk analysis, risk communication, expert judgement